

ZUR ABHÄNGIGKEIT DER TESTGRÖSSE
"MAXIMALE SAUERSTOFFAUFNABME"
VON DER TRETGESCHWINDIGKEIT

- FAHRRADERGOMETERVERSUCHE BEI 50 UND 100 U/MIN -

WOLFRAM KÄSTNER

1975



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554420_0079

Aus der Sportphysiologischen Abteilung (FB 26)
und aus dem
I. Physiologischen Institut (FB 05)
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

ZUR ABHÄNGIGKEIT DER TESTGRÖSSE
"MAXIMALE SAUERSTOFFAUFNAHME"
VON DER TRETGESCHWINDIGKEIT
- FAHRRADERGOMETERVERSUCHE BEI 50 UND 100 U/MIN -

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz,

den Medizinischen Fachbereichen

vorgelegt von

WOLFRAM KÄSTNER

aus Kusel

Fachbereichsdekan:

Professor Dr. Dr. J. Grote

Referent:

Professor Dr. med. H.-V. Ulmer

Korreferent:

Professor Dr. Dr. G. Thews

Tag der mündlichen Prüfung:

25. September 1975



Gesamtherstellung



DITTERS BÜRODIENST

6501 HEIDESHEIM/RHEIN

AM KAPELLECHEN 1 · RUF 0 6132 / 57 11

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. LITERATUR	2
2.1. Standardisierung der Tretgeschwindigkeit nach MELLEROWICZ	2
2.2. Bevorzugte Tretgeschwindigkeit nach freier Wahl	3
2.3. Leistungsempfinden und Leistungsrückmeldung	6
2.4. Motivation und Leistung	8
2.5. Besprechung der einzelnen Meßgrößen der vorliegenden Untersuchung	11
2.5.1. Maximale Sauerstoffaufnahme	11
2.5.2. Die maximale Herzfrequenz	12
2.5.3. Die Ruheherzfrequenz	12
2.5.4. Der Respiratorische Quotient	13
2.5.5. O ₂ -Nachatmung in der Erholung	13
2.6. Hypothese	14
3. METHODIK	15
3.1. Beschreibung der Versuchspersonen	15
3.2. Versuchsbedingungen	16
3.2.1. Benutzte Geräte und Meßeinrichtungen	16
3.2.1.1. Benutzte Geräte und Meßeinrichtungen zur Messung der O ₂ -Aufnahme	16
3.2.1.2. Registrierende Geräte und Meßeinrichtungen	18
3.2.1.3. Sonstige Geräte und Meßeinrichtungen	18
3.2.2. Vorbereitungen und Eichungen	19
3.3. Versuchsdurchführung	20
3.3.1. Festlegung von Belastungsstufen und Tretgeschwindigkeiten	20
3.3.2. Festlegung der Reihenfolge der Einzelversuche	20
3.3.3. Einweisung der Versuchspersonen	20

3.4.	Typischer Versuchsablauf	21
3.5.	Übersicht der einzelnen Meßgrößen	22
3.6.	Auswertung der Versuche	23
3.6.1.	Formel zur Berechnung der O_2 -Aufnahme	23
3.6.2.	Berechnung der Plateau-Dauer der maximalen O_2 -Aufnahme	24
3.6.3.	Berechnung der O_2 -Nachatmung	24
3.6.4.	Statistische Verfahren	24
4.	ERGEBNISSE	25
4.1.	Die Sauerstoffaufnahme	25
4.2.	Die Plateau-Dauer der O_2 -Aufnahme	25
4.3.	O_2 -Nachatmung in der Erholung	25
4.4.	Der maximale respiratorische Quotient	25
4.5.	Die zeitliche Dauer der Versuche	26
4.6.	Dauer der letzten Belastungsstufe	26
4.7.	Abbruch der Versuche bei den jeweils erreichten Endleistungen	26
4.8.	Die Herzfrequenz	26
5.	DISKUSSION	41
5.1.	Diskussion der einzelnen Meßgrößen	41
5.1.1.	Gaswechselgrößen	41
5.1.2.	Ergometrische Daten	43
5.1.3.	Herzfrequenz	44
5.2.	Zu den Versuchspersonen	45
5.3.	Diskussion der Hypothese	45
5.4.	Methodenkritik	46
5.5.	Schlußfolgerung für die Praxis	47
6.	ZUSAMMENFASSUNG	48
7.	LITERATURVERZEICHNIS	50

1. EINLEITUNG

Im Rahmen der Ergometrie befassen sich Arbeits- und Sportphysiologen sehr oft damit, die menschliche Leistungsfähigkeit zu messen. Als ein wesentliches Kriterium der Ausdauerleistungsfähigkeit ist dabei die maximale Sauerstoffaufnahme bei erschöpfender Fahrradergometerarbeit anzusehen.

In Bezug auf die günstigste Tretgeschwindigkeit bei Leistungstests auf dem Fahrradergometer werden in der Literatur unterschiedliche Meinungen vertreten. So forderte eine Standardisierungskommission Tretgeschwindigkeiten von 30 - 50 U/min, weil dann der günstigste Wirkungsgrad erzielt würde (MELLEROWICZ, 1965). Diesem Richtwert der Standardisierungskommission stehen folgende Tatsachen gegenüber:

ISRAEL und Mitarb. fanden 1967, daß mit zunehmender Tretgeschwindigkeit im Bereich von 50 - 70 U/min die maximale Sauerstoffaufnahme ansteigt. Deshalb schlugen diese Autoren vor, eine Tretgeschwindigkeit von 50 U/min bis 70 U/min zu wählen. Zwar würde hierbei nicht die größte Bewegungsökonomie, jedoch eine größere Ausbelastung erreicht werden.

Weiterhin wiesen ULMER und LÖLLGEN (1972) in einer Versuchsserie nach, daß ihre Testpersonen meist höhere, und damit unökonomische, Tretgeschwindigkeiten bevorzugten. Die auf Grund subjektiver Kriterien gewählte Tretgeschwindigkeit von durchschnittlich 75 U/min lag höher als die von der Standardisierungskommission vorgeschlagene Tretgeschwindigkeit von höchstens 50 U/min, auch hier führte sie zu einer stärkeren Ausbelastung der Probanden (Nichtsportler und Sportler).

Angesichts dieser Diskrepanz zwischen subjektiv bevorzugter Tretgeschwindigkeit und der Tretgeschwindigkeit mit günstigster Ökonomie hielten wir es für notwendig, den Einfluß unterschiedlicher Tretgeschwindigkeiten auf das Ergebnis eines Tests mit maximalen Belastungen nochmals zu überprüfen. Wir wählten deshalb die von der Standardisierungskommission vorgeschlagene Tretgeschwindigkeit von 50 U/min und zum Vergleich eine wesentlich höhere Tretgeschwindigkeit von 100 U/min. Als Test wurde die maximale Sauerstoffaufnahme herangezogen.

2. LITERATUR

2.1. Standardisierung der Tretgeschwindigkeit nach MELLEROWICZ

1965 veröffentlichte eine Kommission unter dem Vorsitz von H. MELLEROWICZ Vorschläge zur Standardisierung ergometrischer Leistungstests. Diese internationale Kommission ging davon aus, daß zwar überall Ergometrieversuche durchgeführt wurden, die Ergebnisse aber auf Grund ihrer unterschiedlichen Versuchsdurchführung nicht ohne Schwierigkeiten reproduzierbar und vergleichbar waren. Bei gleicher physikalischer Leistung am Ergometer ist nämlich die biologische Leistung des Organismus in Abhängigkeit von zahlreichen Faktoren (Art der Kurbelarbeit, Kurbellänge, Kurbelhöhe, Größe der Schwungmaße, exogene Faktoren und Drehzahl) unterschiedlich (MELLEROWICZ, 1975). Um eine bessere Vergleichbarkeit ergometrischer Messergebnisse zu ermöglichen, ist daher eine Standardisierung der Methodik erforderlich. MELLEROWICZ und seine Kommission gaben Richtwerte für die äußeren Bedingungen der Ergometerarbeit (Fußkurbelarbeit, stehend bzw. liegend und Handkurbelarbeit stehend) an, ferner für die Kurbellänge, die Höhe der Kurbelachse sowie die Schwungmaße (MELLEROWICZ, 1965). Weiterhin wurden von der Standardisierungskommission folgende Werte für Belastungsvorgabe und Tretgeschwindigkeit vorgeschlagen:

1. Belastungsstufen: 25 Watt von 1 min Dauer
 oder 50 Watt von 2 min Dauer
2. Ausgangsleistung, je nach Leistungsfähigkeit der Versuchspersonen, zwischen 25 und 125 Watt,
Drehzahl von: 0 - 100 Watt 30 U/min
 100 - 200 Watt 40 U/min
 200 - 300 Watt 50 U/min

Für die vorgeschlagenen Drehzahlen gab MELLEROWICZ als Begründung an, daß sie dem Bereich der günstigsten "Leistungsökonomie", also dem günstigsten Wirkungsgrad entsprechen.

In der klassischen Arbeitsphysiologie nahm der Wirkungsgrad bezüglich der Optimierung von Bewegungsabläufen eine zentrale Stellung ein (LEHMANN, 1962; ATZLER, 1927;

STEGEMANN, 1971). Der Wirkungsgrad (η) ist als der Quotient aus gewonnener Energie und aufgewendeter Energie definiert.

$$\eta = \frac{\text{gewonnene Energie}}{\text{aufgewendete Energie}}$$

STEGEMANN und Mitarbeiter bezeichneten (1968) den Kehrwert dieses Quotienten als "Ökonomiequotienten".

Je nach Ausmaß dieses "Ökonomiequotienten" führt eine bestimmte Leistungsvorgabe beim Menschen (z.B. in Watt) zu unterschiedlichen Beanspruchungen des Organismus. Unter Belastung wird dabei die vorgegebene Leistung, unter Beanspruchung die jeweilige Reaktion des Organismus auf Belastungen verstanden (ROMMERT, 1973). LEHMANN (1962) spricht bei ergometrischen Belastungen einmal von der physikalischen Leistung. Diese Leistung entspricht der am Ergometer abgegebenen Leistung in physikalischen Größenordnungen (Watt oder mkp/sec). Je nach Wirkungsgrad wird der Organismus unterschiedlich beansprucht. In diesem Fall spricht Lehmann von "physiologischer Leistung". Je geringer der Wirkungsgrad bei ergometrischer Arbeit ist, desto größer ist die physiologische Leistung.

In der letzten Zeit wurde nun die Hypothese aufgestellt, daß in der Sportphysiologie dem Wirkungsgrad keine derartige zentrale Bedeutung beizumessen sei (ULMER, 1973). Anregung zu diesen Überlegungen waren Wettkampfbeobachtungen bei Radsportlern, die wesentlich höhere Drehzahlen bevorzugten, als es dem optimalen Wirkungsgrad entsprechen würde (ULMER, 1973b).

Diese Beobachtungen zeigten, daß es offensichtlich noch weitere Gründe geben muß, die es ratsam erscheinen lassen, unökonomisch hohe Tretgeschwindigkeiten zu wählen. Der günstigste Wirkungsgrad bzw. die günstigste Ökonomie sind bei der Wahl der Tretgeschwindigkeit im Sport wie auch bei Ergometerversuchen offensichtlich nicht einziger Gesichtspunkt. Dieses soll im folgenden Kapitel näher beschrieben werden.

2.2. Bevorzugte Tretgeschwindigkeit bei freier Wahl

Bei Bahnrennen kann man feststellen, daß Radsportler im Wettkampf Drehzahlen von 100 bis 130 U/min wählen (ULMER, 1969b). Diese hohen Drehzahlen widersprechen jedoch, arbeitsphysiologisch gesehen, dem günstigsten Wirkungsgrad, der im Bereich

von 40 bis 60 U/min zu finden ist (Übersicht bei STEGEMANN und Mitarb., 1968). Aufgrund der Erfahrungen von Trainern und Aktiven stellte sich aber heraus, daß nur hohen Tretgeschwindigkeiten entsprechende Übersetzungen es dem Radsportler ermöglichen, sich den dauernd ändernden Wettkampfbedingungen anzupassen und damit die jeweils günstigsten Wettkampfergebnisse zu erzielen.

Deshalb untersuchten STEGEMANN und Mitarb. (1968), ob bei Radsportlern ein anderer Drehzahlbereich mit dem günstigsten Wirkungsgrad verbunden ist, als bei den sonst untersuchten Nichtsportlern. Dabei stellte sich heraus, daß Trainierte wie Untrainierte unter den vorgegebenen Bedingungen übereinstimmend den optimalen Wirkungsgrad bei 50 - 60 U/min aufwiesen.

Für Laborbedingungen untersuchte ULMER (1971) im Rahmen einer Pilot-Studie, welche Tretgeschwindigkeiten von verschiedenen Versuchspersonen bevorzugt werden, wenn man den Probanden freie Wahl läßt. Zwei Gruppen wurden zum Vergleich einander gegenübergestellt:

1. Kontrollgruppe gesunder Nichtsportler,
2. Radsportler.

Auf diese Untersuchungen soll näher eingegangen werden, da sich gerade hier die Diskrepanz zwischen bester Ökonomie und subjektiv gewählter Drehzahl aufzeigen läßt. Die von ULMER durchgeführten Versuche seien auszugsweise wiedergegeben:

"Bei den Versuchen wurden zwei verschiedene Ergometer benutzt, einmal ein rennrad-ähnlich umgebautes ÅSTRAND-Ergometer mit einer 10-Gang-Kettenschaltung, zum anderen ein SIEMENS-ELEMA-Ergometer. Den Versuchspersonen wurde aufgetragen, auf den beiden Ergometern bei verschiedenen Leistungen die Tretgeschwindigkeit so zu verändern, bis sie das Gefühl hatten, daß sie die vorgegebene Leistung am wenigsten anstrengt. Beim ÅSTRAND-Ergometer mit Gangschaltung mußten die Versuchspersonen die Umdrehungszahl der Schwungscheibe konstant halten. Bei gleichbleibender Bremsreibung blieb somit die Leistung konstant, unabhängig von der Tretgeschwindigkeit, die sich die Versuchspersonen mit der Gangschaltung wählen sollten. Beim SIEMENS-Ergometer verhält sich die abgegebene Leistung unabhängig von der Drehzahl, so daß die Tretgeschwindigkeit von den Probanden kontinuierlich verändert werden konnte. An einer dritten Versuchsserie wurden am ÅSTRAND-Ergometer verschiedene Bremsreibungen vorgegeben und die Übersetzung konstant gehalten. Bei dieser

Anordnung ist die Leistung drehzahlabhängig, was aber den Versuchspersonen vorher nicht mitgeteilt wurde. Die Aufgabe lautete auch hier, die Tretgeschwindigkeit so zu wählen, daß die eingestellte "Arbeit" am leichtesten empfunden wurde. Neben einer Gruppe von Radsportlern wurde auch eine Gruppe von Nichtsportlern untersucht."

Die Ergebnisse zeigten, daß alle Versuchspersonen am Ergometer mit Gangschaltung die Tretgeschwindigkeit mit steigender Leistung erhöhten. Als mittlere Tretgeschwindigkeit von 7 Radsportlern ergaben sich Werte zwischen 70 und 80 U/min; die Werte der Nichtsportler lagen um rund 10 U/min niedriger, aber noch immer höher, als es dem Wirkungsgradoptimum entspräche. Auch beim SIEMENS-Ergometer zeigte sich, daß die Mittelwerte von 8 Radsportlern und 6 Nichtsportlern deutlich höher als 60 U/min lagen. Bei der Versuchsserie mit drehzahlabhängiger Leistungsvorgabe am ÅSTRAND-Ergometer ergab sich wiederum, daß zumeist unökonomische Tretfrequenzen bevorzugt werden. Auch hier traten die Radsportler schneller als die Nichtsportler.

ULMER und LÖLLGEN untersuchten 1972, ob auch stationäre Patienten mit unterschiedlicher Krankheitsschwere bei frei zu wählenden Tretgeschwindigkeiten ähnlich hohe Umdrehungszahlen bevorzugten wie die beschriebenen Sportler und Normalpersonen. Auch hier stellte sich heraus, daß die Drehzahlmittelwerte über 60 U/min lagen.

Bezüglich der Ursachen für die Einstellung der hohen Tretgeschwindigkeiten wurden von STEGEMANN und Mitarb. (1968) sowie von ULMER (1969a) vermutet, daß die Abhängigkeit des Leistungsempfindens von der Drehzahl hierbei von ausschlaggebender Bedeutung sei. Es ließ sich nämlich nachweisen, daß mit steigender Tretgeschwindigkeit das Leistungsempfinden abnimmt. Dieses zeigte sich sowohl in Schätzversuchen mit Halbierung und Verdoppelung der Belastung bei Fahrradergometerarbeit (STEGEMANN und Mitarb., 1968), als auch in neueren Versuchen über die Abhängigkeit des Leistungsempfindens von der Drehzahl anhand einer psychologischen Empfindungsskala (ULMER und Mitarb., 1974). Diese Abhängigkeit könnte bewirken, daß mit abnehmendem Leistungsempfinden höhere Tretfrequenzen bevorzugt werden. Auf diesen Aspekt der Bewegungsgeschwindigkeit soll im folgenden Kapitel näher eingegangen werden.

2.3. Leistungsempfinden und Leistungsrückmeldung

In den vorher beschriebenen Untersuchungen wurde die Wahl höherer Tretgeschwindigkeiten auf einen Einfluß des Leistungsempfindens zurückgeführt, wobei mit zunehmender Tretgeschwindigkeit das Leistungsempfinden abnehmen soll und damit höhere Tretgeschwindigkeiten bevorzugt werden. Zum Einfluß der Bewegungsgeschwindigkeit auf Kraft- und Leistungsempfinden liegen unter anderem folgende Untersuchungen vor:

STEGEMANN und Mitarb. prüften 1968 die Beziehung zwischen Kraft und Kraftempfinden als Ursache für die Wahl energetisch ungünstiger Tretgeschwindigkeiten beim Radsport.

Bei diesen Versuchen ging es im Prinzip darum, eine Testleistung, die 5 Minuten lang bei konstanter Tretgeschwindigkeit geleistet wurde, bei einer anderen Tretgeschwindigkeit zu reproduzieren. Den Versuchspersonen war die Tatsache bekannt, daß die Leistung proportional dem Produkt aus Tretkraft und Tretgeschwindigkeit ist. Alle Versuchspersonen schätzten die ihnen vorgegebene Leistung bei anderen Tretgeschwindigkeiten falsch ein. Sie empfanden eine große Tretkraft als überproportional zu groß, eine kleine Tretkraft als überproportional zu klein. Dies könnte dazu führen, daß die Probanden eine kleinere Tretkraft bevorzugen, die sie dann durch eine höhere Tretgeschwindigkeit ausgleichen müßten. Dabei wird allerdings der Wirkungsgrad geringer.

ULMER (1969b, 1973a) untersuchte, welche Bedeutung dem Leistungsempfinden bei der Wahl der Tretgeschwindigkeit zukommt. Im Labor wurde eine Wettkampfsituation dadurch nachgeahmt, daß Radsportler auf einem Ergometer alleine "gegen die Uhr" fahren sollten. Den Radsportlern wurde die Aufgabe gestellt, genau eine Stunde lang mit jeweils konstanter Tretgeschwindigkeit (60, 90 oder 120 U/min) zu fahren. Die Leistung konnte vom Probanden selbst durch Veränderung der Bremsreibung bestimmt werden.

Das Ziel der Aufgabe bestand darin, innerhalb einer Stunde die größtmögliche Leistung bei konstanter Tretgeschwindigkeit zu vollbringen. Bei diesen "Stundenversuchen" zeigte sich (ULMER, 1973a), daß trotz unterschiedlichen Wirkungsgrades im Drehzahlbereich von 60 - 90 U/min fast die gleiche Durchschnittsleistung eingestellt wurde. Erst bei Drehzahlen um 120 U/min wurde der Einfluß des noch ungünstigeren Wirkungsgrades im Absinken der Gesamtleistung ersichtlich. Weiterhin zeigte das Verhalten von Sauerstoffaufnahme und Pulsfrequenz, daß sich mit steigender Drehzahl die Versuchspersonen stärker verausgabten. Hieraus wurde geschlossen, daß niedrige Tretgeschwindigkeiten

den Leistungseinsatz bremsen, hohe Tretgeschwindigkeiten den Leistungseinsatz jedoch fördern. Eine weitere Erkenntnis läßt sich aus den "Stundenversuchen" ableiten. Hier wird ersichtlich, daß es eine Rückmeldung über die Leistung geben muß. Wie wäre es sonst möglich, daß alle Probanden mit Erfolg den Bereich der vermutlich individuell größtmöglichen Durchschnittsleistung erreichten. Keine der Versuchspersonen brach die Arbeit vorzeitig ab. Bei fehlender Rückmeldung wäre es wohl möglich gewesen, daß sich eine Testperson zu Beginn des Versuches eine zu hohe Leistung einstellte und dann den Versuch vorzeitig hätte abbrechen müssen. Weiterhin ergab sich aus den Meßwerten für Sauerstoffaufnahme und Pulsfrequenz, daß sich die Versuchspersonen stark anstrengten und sicher nicht etwa nur "spazieren führen". Ebenso spricht für eine Rückmeldung auch die Tatsache, daß die eingestellte Leistung häufig, aber nur geringfügig, geändert wurde. Trat aber einmal ein "Irrtum" (größere Fehleinschätzung) bei der Einteilung des Leistungseinsatzes auf, so wurde er von der Versuchsperson recht schnell "über die Rückmeldung" erkannt und korrigiert. Dieses Verhalten der Testpersonen spricht für einen fortlaufenden Sollwert/Istwert-Vergleich.

"In diesem Wechselspiel zwischen Soll-Wert (aktuelles Leistungsvermögen) und Ist-Wert (aktuelle Leistung) muß einer Art von Leistungsempfinden eine wichtige Rolle zukommen" (ULMER, 1973a). 1974 versuchten ULMER und Mitarb., dieses subjektive Leistungsempfinden in einer Versuchsserie mit Hilfe einer psychologischen Schätzskala (BORG) meßbar zu machen und den Einfluß der Leistungsempfindung auf die Optimierung von Bewegungsabläufen zu ergründen.

BORG und DAHLSTRÖM entwickelten 1962 eine spezielle vielstufige Skala, mit der das Leistungsempfinden experimentell erfaßt werden kann. Diese Skala wurde in den von ULMER und Mitarb. (1974) durchgeführten Versuchen eingesetzt. Sie erfaßt in 14 Stufen das Leistungsempfinden von "sehr sehr leicht" bis "sehr sehr anstrengend".

6 Versuchspersonen wurden aufgefordert, jeweils Versuchsreihen mit Tretgeschwindigkeiten von 40, 60, 80 und 100 U/min durchzuführen. Dabei wurden Belastungen von 50, 100, 150 und 200 Watt vorgegeben. Die Kombinationsmöglichkeiten aus Tretgeschwindigkeit und Belastung ergaben 16 Einzelversuche von je 60 sec Dauer; diese bildeten eine Versuchsreihe. Um einen möglichen Lerneffekt auszuschließen, wurde von Versuchsdurchgang zu Versuchsdurchgang die Reihenfolge der Einzelversuche gewechselt. Mit jeder Versuchsperson wurden jeweils 6 Versuchsreihen an einem ÅSTRAND-Ergometer durchgeführt. Am Ende der jeweils einminütigen Belastung sollten die Proban-

den ihr Leistungsempfinden anhand der BORG-Skala angeben. Die Autoren fanden heraus, daß sich die BORG-Skala sehr gut eignete, um in Laborversuchen das Leistungsempfinden zu skalieren. Während der Versuche wurde kein Übungseffekt nachgewiesen; man kann deshalb vermuten, daß das subjektive Messen von Leistungen ein alltäglicher Vorgang ist, der nicht erst während der Versuche erlernt wurde. Hervorgehoben wird der deutliche Einfluß der Tretgeschwindigkeit auf das Leistungsempfinden: Hohe Tretgeschwindigkeiten bewirkten im Vergleich zu niedrigen Drehzahlen ein wesentlich geringeres Leistungsempfinden. Somit wurden die früheren, mehr hypothetischen Vermutungen gestützt, wonach das Leistungsempfinden erheblich von der Tretgeschwindigkeit abhängt. Dies dürfte für das Problem der Bewegungsgeschwindigkeit bei Ausdauersportarten mit zyklischem Bewegungsablauf von Bedeutung sein (ULMER und Mitarb., 1974).

Aber auch bei Leistungstests mit Fahrradergometern dürfte dem Leistungsempfinden wegen der Abhängigkeit von der Tretgeschwindigkeit eine Bedeutung zukommen, worauf u.a. die auf Seite 1 genannten Befunde von ISRAEL und Mitarb. (1967) hinweisen.

2.4. Motivation und Leistung

Eine große Schwierigkeit stellt bei Experimenten am Menschen die Tatsache dar, daß Ziele des Versuchsleiters auf die Versuchspersonen übertragen werden können. In vielen Fällen wählt man daher den doppelten Blindversuch (KUSCHINSKY, 1975). Gerade bei Leistungstests sind Störungen durch Beeinflussung der Motivation des Probanden möglich, gleichgültig, ob dies beabsichtigt oder unbeabsichtigt geschieht.

So haben z.B. RÖCKER und STOBOY (1970) die Beziehung zwischen Kraft und statischer Ausdauer unter besonderen Motivationsbedingungen untersucht. Als Versuchspersonen stellten sich 28 nicht selektierte, gesunde, männliche Studenten im Alter von 18 - 30 Jahren zur Verfügung. Den Probanden wurde in sitzender Position auf einem Stuhl eine Lederschleife um den rechten Knöchel gelegt, die mit einer Ringkraftuhr verbunden war. Bei den Versuchen ohne besondere Motivation wurde die Sichtrohre eines Registriergerätes eingeschaltet, so daß für die Testperson ein Ablesen der Kraftkurve während einer Kontraktion nicht möglich war. Dann forderte man den Probanden auf, den rechten Unterschenkel maximal bis zur Erschöpfung zu strecken. Der erreichte Wert wurde photographisch festgehalten. In der zweiten Versuchsreihe erfolgt nun-

mehr eine spezielle Motivierung der Testpersonen, indem die Sichtröhre des Registriergerätes eingeschaltet wurde und der Versuchsperson für die beim ersten Versuch erreichte Kraft ein Wert vorgetäuscht wurde, der doppelt so hoch lag, wie der beim ersten Versuch tatsächlich erreichte. Außerdem wurden Vergleichswerte über die Kraft von weiblichen Testpersonen genannt, die aber stark übertrieben waren. Bei diesem Versuch waren auch mehrere Freunde anwesend, die den Probanden mit Zurufen anfeuertten. Die Untersuchungen zeigten deutlich, daß die Maximalkraft unter diesen Motivationsbedingungen 65 % größer war als im Zustand ohne spezielle Motivation. Dieses Ergebnis unterstreicht die Wichtigkeit dieser psychologischen Einflußgröße bei Beurteilung von Leistungstests.

1972 veröffentlichten RÖCKER und STOBOY eine Untersuchung über den Einfluß einer speziellen Motivierung auf Herzfrequenz, Atemzeitvolumen und Sauerstoffaufnahme bei maximalen statischen Kontraktionen. Der Versuchsaufbau war ähnlich wie bei den im vorherigen Absatz beschriebenen Testreihen (1970). Zusätzlich wurden lediglich während der Meßreihe und der Erholungsphase fortlaufend folgende Maximal-Werte registriert: Herzfrequenz, Atemzeitvolumen und Sauerstoffaufnahme. Lediglich die maximale Herzfrequenz änderte sich in der Motivations-Gruppe von durchschnittlich 128 auf 151 min^{-1} , das max. Atemzeitvolumen und die max. Sauerstoffaufnahme zeigten keine signifikanten Unterschiede.

Bei maximaler isometrischer Kontraktion des M. quadriceps femoris stieg die Herzfrequenz ohne besondere Motivierung auf einen Maximalwert von 128 min^{-1} , mit spezieller Motivierung auf 151 min^{-1} .

Bei der Interpretation dieser Ergebnisse muß aber auf den Unterschied zwischen einer statischen und dynamischen Arbeit hingewiesen werden. Obgleich maximale statische Arbeit außerordentlich anstrengend ist und schnell ermüdet, ist dennoch der Energieumsatz verhältnismäßig klein. Bei dynamischer Arbeit mittlerer Intensität können bis zum Erreichen der Erschöpfung erhebliche Energieumsätze erreicht werden.

Psychologische Tests wurden von TIEFENBACH (1967) unter Abweichung der herkömmlichen Ergometeranordnung durchgeführt. Dabei sollten sechs zehnjährige Knaben 10 Etappen zu 1 km bei freier Geschwindigkeitswahl fahren. Die Instruktion lautete, daß jede Etappe 30 Sekunden andauern solle. In Wirklichkeit aber bestand jede Etappe aus 30 Pedalumdrehungen. Zwischen den einzelnen Etappen lag jeweils eine Pause von 2

Minuten. In den Pausen wurde den Kindern der informierten Gruppe 1 eine Verbesserung bis zur 3. Etappe und eine Verschlechterung bis zur 8. Etappe angesagt. Den Knaben der Kontrollgruppe 2 wurden während der 10 Etappen keinerlei Angaben gemacht. Wenn niedrige Leistungsansagen (Gruppe 1, Etappe 3 - 8) vorangingen, so war der Leistungseinsatz im Verhältnis zur Kontrollgruppe besonders groß. Bei diesen Gruppen wurde ein Endspurt beobachtet. Die Pulsfrequenz der informierten Gruppe 1 lag höher als bei der Kontrollgruppe 2. Bei den informierten Kindern setzte bei der 8. Etappe und bei den Kontrollkindern erst bei der letzten Etappe eine Erwartungsmotivation ein, die durch das bevorstehende Ende der Belastungsserie ausgelöst wurde. Wie aus den Ergebnissen dieser Versuchsreihe deutlich hervorgeht, lag die erreichte Leistung bei den informierten Probanden wesentlich höher als bei den nicht motivierten Kontrollkindern.

1970 untersuchte SCHITTENHELM an der Bayerischen Sportakademie die psychische Beeinflussung der maximalen körperlichen Leistungsfähigkeit unter Schulbedingungen. An den Untersuchungen nahmen 89 Realschüler im Alter von 12 - 17 Jahren teil. Für die Belastung wurde eine einfache gymnastische Übung ausgewählt, die bis zur körperlichen Erschöpfung ausgeführt werden sollte. Die Untersuchungen wurden in zwei Versuchsreihen mit 7-tägiger Pause durchgeführt. Das Ausführungstempo für die gymnastische Übung betrug jeweils 35 Übungseinheiten pro Minute.

In der 1. Versuchsreihe wurde das Tempo mit einem Tamburin taktiert.

Im 2. Versuch, mindestens eine Woche später, wurde der Rhythmus nicht mit einem Tamburin, sondern durch laute Beatmusik vorgegeben. Durch diese Musik sollte ein möglicher leistungsverbessernder, stimulierender Einfluß auf die Schüler geprüft werden. Die Versuchsergebnisse zeigten, daß eine durchschnittliche Leistungssteigerung von 42 % erreicht wurde. Ohne Musikbegleitung wurden von den 89 Schülern insgesamt 3530 Übungsausführungen geleistet, in der 2. Untersuchungsreihe mit Musikbegleitung 5011 Übungsausführungen. Das bedeutet eine mittlere Steigerung von 40 auf 56 Übungen pro Schüler.

Diese Kapitel sollte an einigen Beispielen die Abhängigkeit der Leistung von der Motivation zeigen und darlegen, daß Testpersonen mit einer hohen Motivation zu einer höheren Leistung fähig als nicht speziell motivierte Personen sind.

STEINBACH veröffentlichte 1970 eine "medizinisch-psychologische Betrachtung" zum

Vorstartzustand. Dieser Zustand ist von mitentscheidendem Einfluß auf die spätere Leistung und zeigt sich z.T. schon Stunden vor einem Wettkampf in Form mehr oder weniger deutlich ausgeprägter psychischer und vegetativer Symptome. Z.B. zeigte Juri Gagarin vor dem Start seiner Rakete in den Weltraum Herzfrequenzen von 180 min^{-1} . Bei Sprintern wurden Frequenzen von $100 - 160 \text{ min}^{-1}$ beobachtet, während das Kommando "auf die Plätze" gegeben wurde. Die hohen Herzfrequenzen sind ein Ausdruck für ein einsetzendes Gefühl der Leistungsbereitschaft und weisen auf einen hohen Erwartungs- und Motivationszustand hin. Man kann nicht nur eine Erhöhung der Herzfrequenz beobachten, sondern auch eine Erhöhung der Adrenalin- und NoradrenalinKonzentration im Urin unmittelbar vor hohen physischen und psychischen Aktivitäten.

2.5. Besprechung der einzelnen Meßgrößen der vorliegenden Untersuchung

2.5.1. Maximale Sauerstoffaufnahme

Als ein wesentliches Kriterium der körperlichen Leistungsfähigkeit ist die max. Sauerstoffaufnahme zu betrachten (u.a. ÅSTRAND, 1953; KNIPPING und Mitarb., 1960; HOLLMANN, 1963; ISRAEL und BRENKE, 1965). Nach STEGEMANN (1971) wird das max. O_2 -Aufnahmevermögen durch folgende Parameter begrenzt oder beeinflusst:

Als erste beeinflussende Größe wäre das maximal mögliche Herzminutenvolumen zu nennen, das selbst wieder abhängig von dem maximalen Schlagvolumen und der maximalen Herzfrequenz ist. Eine weitere begrenzende Größe ist die arteriovenöse Differenz des Blutes für Sauerstoff. Dafür ist z.B. die Kapillarisation des Muskels und die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes in den Kapillaren maßgebend. Eine gute Kapillarisation des Muskels bewirkt eine größere Diffusionsoberfläche und deshalb eine bessere O_2 -Ausschöpfung. Neben diesen genannten Einflüssen wird die maximale O_2 -Aufnahme noch durch die Hämoglobinmenge im Blut beeinflusst.

Neben zentralen Anpassungsmechanismen ("Sportherz") sind auch lokale, den ausdauertrainierten Muskel betreffende Faktoren (Kapillarisation, Stoffwechsel) maßgebend (KEUL und HARALAMBIE, 1972).

HARRE bestand (1971) daher auf einer Sportart-spezifischen Belastungsform bei Ergometerversuchen; dabei soll die durch Training angepaßte Muskulatur bevorzugt belastet werden.

Bei der Bestimmung der O_2 -Aufnahme kann man beobachten, daß anfangs mit steigender Belastungsstufe auch die O_2 -Aufnahme zunimmt. Im Erschöpfungsbereich hingegen zeigt sich schließlich ein flacher Verlauf, bei dem die O_2 -Aufnahme trotz steigender Belastung nicht weiter ansteigt (KNIPPING und Mitarb., 1963; HOLLMANN, 1963). Man spricht vom "leveling off". Die maximale O_2 -Aufnahme bei Fahrradergometerarbeit im Sitzen beträgt bei Normalpersonen nach HOLLMANN 2970 ml/min und nach MELLEROWICZ 3110 ml/min (MELLEROWICZ und HANSEN, 1965).

2.5.2. Die maximale Herzfrequenz

Die maximale Herzfrequenz ist, wie u. a. HOLLMANN (1963) untersuchte, abhängig vom Alter des Menschen. Außerdem bestehen erhebliche interindividuelle Unterschiede. Aufgrund dieser Tatsachen ist es nicht möglich, individuelle brauchbare Rückschlüsse aus dieser Meßgröße zu ziehen. ISRAEL verglich 1968 größere Untersuchungsgruppen miteinander; dabei konnte er keinen zuverlässigen Zusammenhang zwischen der max. Herzfrequenz und dem Herzvolumen in Ruhe (und damit dem Trainingszustand) feststellen. Man kann also davon ausgehen, daß der Testgröße "maximale Herzfrequenz" beim interindividuellen Vergleich keine besondere Aussagefähigkeit in Bezug auf den Trainingszustand oder die Leistungsfähigkeit zukommt. Beim intraindividuellen Vergleich läßt jedoch die Herzfrequenz bei Abbruch einer Arbeit Rückschlüsse auf die Ausbelastung zu.

2.5.3. Die Ruheherzfrequenz

Die Ruheherzfrequenz wird von Sportlern oft als ein Maß für den Trainingszustand angesehen (ISRAEL, 1968). Diese Aussage mag im allgemeinen zutreffend sein, jedoch treten hier beim interindividuellen Vergleich größere Schwankungen auf, so daß die Aussagefähigkeit dieses Kriteriums in Frage gestellt wurde (MILLAHN, 1965). Ferner muß berücksichtigt werden, ob die Ruheherzfrequenz im Sitzen oder im Liegen gemessen wurde, da hier unterschiedliche Werte gefunden wurden.

KNOPP und Mitarb. (1973) untersuchten deshalb, wie groß die Zuverlässigkeit des Kriteriums "Ruheherzfrequenz" bei Mehrfachmessung ist; weiterhin, in welchen Ausmaß sich Körperlage und Tageszeit auf dieses Kriterium auswirken. Dabei zeigte sich:

1. Die mittlere Ruheherzfrequenz lag bei Trainierten niedriger als bei Untrainierten.
2. Die Herzfrequenz im Sitzen war im Durchschnitt um 6 min^{-1} höher als im Liegen,

der Mittelwert betrug im Sitzen bei den Trainierten 55 min^{-1} und bei den Untrainierten 69 min^{-1} .

3. In der ersten Stunde nach dem Erwachen nahm die Herzfrequenz im Durchschnitt um 6 min^{-1} zu.

Deshalb schlugen die Autoren vor, bei Messungen von Herzfrequenzwerten aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit stets die folgenden Meßbedingungen konstant zu halten: Zeitspanne seit bzw. bis zur Nahrungsaufnahme, Körperlage und Tageszeit.

2.5.4. Der Respiratorische Quotient

Der Respiratorische Quotient wird definiert als das Verhältnis von Kohlendioxydabgabe zur Sauerstoffaufnahme.

$$R_Q = \frac{\dot{V}_{\text{CO}_2}}{\dot{V}_{\text{O}_2}}$$

Der R_Q bei Ruhe liegt durchschnittlich bei 0,82 mit interindividuell und intraindividuellen Schwankungen. Der R_Q ist einmal metabolisch bedingt; bei schwerer Arbeit steigt er jedoch aus respiratorischen Gründen an, teilweise auf Werte über 1,0. Überschreitet der R_Q bei Arbeit diesen Wert, gilt dies als Kriterium der Ausbelastung (STEGEMANN, 1971).

2.5.5. Die O_2 -Nachatmung in der Erholung

Hierunter ist das Maximum an Sauerstoffschuld zu verstehen, das der Organismus während einer sehr starken Belastung einzugehen vermag (HOLLMANN, 1963). Diese maximale Sauerstoffschuld wird durch Registrierung jener Sauerstoffmenge ermittelt, die nach Abbruch der Arbeit noch über den Ruhebedarf aufgenommen wird. Die maximale Sauerstoffschuld wird, gemeinsam mit dem maximalen O_2 -Aufnahmevermögen, von HOLLMANN als ein Kriterium für die körperliche Höchstleistungsfähigkeit angesehen. KEUL und Mitarb. (1969) weisen jedoch darauf hin, daß die Sauerstoffmehraufnahme in der Erholungsphase nur Ausdruck eines bedeutungslosen Mehrbedarfs an Sauerstoff sei. Bei der Sauerstoffschuld handelt es sich also nicht nur um das Abtragen eines Sauerstoffdefizits, sondern vielmehr auch darum, den durch die Belastung entstandenen und noch bestehenden Mehrbedarf an Oxydationsvorgängen zu decken. Für KEUL und Mitarb. be-

stehen keine Zweifel, daß die Sauerstoffschuld beim menschlichen Organismus keine eindeutig interpretierbare Größe ist. Die Autoren weisen darauf hin, daß es klärend sein würde, den Begriff Sauerstoffschuld aufzugeben.

2.6. Hypothese

Die Hypothesenbildung ging von folgenden Überlegungen aus:

1. Der optimale Wirkungsgrad liegt bei Fahrradergometerarbeit zwischen 50 - 60 U/min.
2. Bei freier Wahl werden höhere Tretgeschwindigkeiten bevorzugt, die mit einem geringeren Leistungsempfinden einhergehen.
3. Die bei höheren Tretgeschwindigkeiten auftretende Minderung des Leistungsempfindens könnte dazu führen, daß bei Tests mit maximaler Belastung eine größere Ausbelastung bewirkt wird.
4. Das Ergebnis von Tests mit maximaler Belastung hängt nicht nur vom Leistungsempfinden, sondern auch von der Motivation ab.

Die Hypothese: bei der Messung der maximalen O_2 -Aufnahme erhält man bei Vorgabe einer Tretgeschwindigkeit von 100 U/min als Zeichen einer größeren Ausbelastung höhere Werte für die maximale O_2 -Aufnahme als bei 50 U/min.

3. METHODIK

3.1. Beschreibung der Versuchspersonen

An den Versuchen nahmen 12 Studenten der Universität Mainz teil, die sich ohne Bezahlung und ohne besonderes Auswahlverfahren zur Verfügung stellten. Es handelte sich hierbei um Sportstudenten mit einem üblichen täglichen Trainingsprogramm. Die nachfolgende Tabelle informiert über Größe, Gewicht, Alter und die hauptsächlich ausgeübte Sportart der Versuchspersonen.

Nr.	Vp	cm	kg	Alter	bevorzugte Sportart
1	G.W.	183,5	78,0	28	Rudern
2	H.D.	173,0	65,0	21	Rudern
3	J.Z.	184,5	84,1	21	Rudern
4	H.S.	185,0	87,0	24	Schwimmen
5	L.R.	181,5	76,6	26	(Sportstudent)
6	B.R.	186,0	71,0	28	Langstrecke
7	H.K.	178,0	75,3	27	(Sportstudent)
8	G.K.	185,0	74,0	22	400 m Hürden
9	G.N.	182,0	78,2	24	Tennis
10	T.S.	171,5	64,0	23	Mittelstrecke
11	M.S.	181,0	81,0	21	Hockey
12	P.F.	174,0	68,2	21	Fußball
Mittelwerte:		180,4	75,8	23	
		$\pm 5,1$	$\pm 7,2$	$\pm 2,8$	

Tab. 1: Persönliche Daten der Versuchspersonen

3.2. Versuchsbedingungen

3.2.1. Benutzte Geräte und Meßeinrichtungen

Die Versuche wurden an einem Meßplatz durchgeführt, der ähnlich dem von ULMER (1970) beschriebenen war. Er bestand aus einem Fahrradergometer nach ÅSTRAND sowie den dazugehörigen Meß- und Registriereinrichtungen. In den nachfolgenden Kapiteln soll eine Beschreibung des Meßplatzes gegeben werden, wobei auf die Messung der Sauerstoffaufnahme speziell eingegangen wird.

3.2.1.1. Benutzte Geräte und Meßeinrichtungen zur Messung der Sauerstoffaufnahme

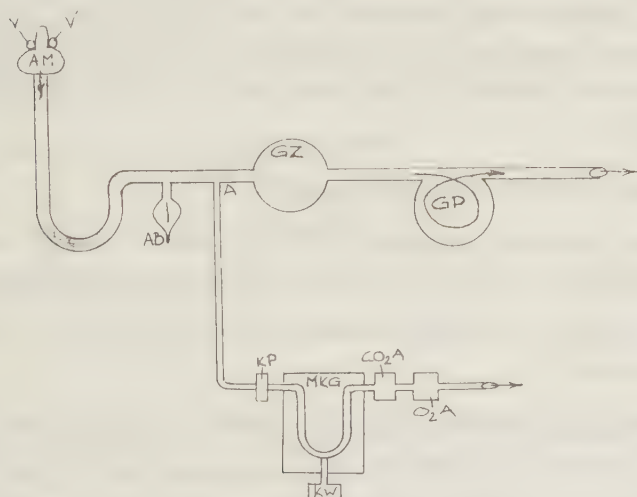
Zur Messung der Sauerstoffaufnahme wurden folgende Geräte benutzt:

1. O_2 -Analysator (OXYTEST) und CO_2 -Analysator (URAS-M) zur fortlaufenden Anzeige der O_2 - und CO_2 -Konzentrationen in der abströmenden Mischluft.
2. Saugpumpe für die Frischluftzufuhr.
3. Balgengaszähler zur Bestimmung der von der Pumpe abgesaugten Luftmenge (ELSTER).
4. Meßgaskühler zum Trocknen der Analysenluft (HARTMANN + BRAUN).
5. Gasmischanlage (AVL Gasmix, HARNONCOURT und Mitarb., 1972) mit dazugehörigen Druckflaschen für Reinstgase (O_2 , N_2 , CO_2) zum Abgleichen der O_2 - bzw. CO_2 -Anzeige vor und nach jedem Versuch.

Über eine Atemmaske (Modell SIEMENS) mit zwei seitlichen Einatemventilen wird Frischluft angesaugt (Abb. 1). Diese Luft strömt über einen weitleumigen Atemschlauch ($\varnothing$ 37 mm) durch einen Balgen-Gaszähler (ELSTER) und wird schließlich durch eine Saugpumpe ins Freie gedrückt. Atmet der Proband nicht, strömt durch die Einatemventile genauso viel Luft in die Maske hinein wie von der Pumpe abgesaugt wird. Macht der Proband einen tiefen Einatemzug, findet ein zusätzlicher Lufteinstrom durch die Ventile statt. Atmet der Proband aus, so wird ein entsprechend geringerer Teil an Frischluft durch die seitlichen Ventile angesaugt, wobei sich die Ausatemluft mit der überschüssigen Frischluft mischt. In dem Rohrsystem zwischen Maske und Gasuhr findet eine weitere Mischung zwischen überschüssiger Frischluft und Ausatemluft statt. Bei einer besonders forcierten Expiration werden die Einatemventile geschlossen und eventuell überschüssige Expirationsluft kurzfristig im Atembeutel gespeichert. Bei der Abzweigstelle zur Gas-

analyse besteht somit eine kontinuierliche Mischluftströmung, unabhängig von den jeweiligen Atemzugvolumina und dem Atemzyklus.

Die CO_2 - und O_2 -Konzentrationen der Mischluft werden fortlaufend durch ein Analysesystem bestimmt. Dieses besteht aus einer sehr kleinen Absaugpumpe, die über ein dünnes Rohr ($\varnothing 2,5 \text{ mm}$) eine Mischluftmenge von etwa 1 l/min absaugt. Diese Probenmenge wird durch einen Meßgaskühler gedrückt, wobei die Mischluft auf ca. 1°C abgekühlt wird (ULMER, 1973). Auf diese Art und Weise wird das Meßgas weitgehend getrocknet und auf einen konstanten pH_2O gebracht (5 Torr). Die an der Eingangsstelle enthaltene Luftfeuchtigkeit tropft als Kondenswasser ab. Anschließend wird das Meßgas auf seine CO_2 - (URAS-M) und O_2 - (OXYTEST S) Teilkonzentrationen geprüft. Bei den Vorversuchen und bei den Hauptversuchen der 4 ersten Probanden befand sich anstelle des Meßgaskühlers eine mit Wasser gefüllte Fritte, die ebenfalls für einen konstanten pH_2O sorgte (volle Sättigung mit Wasserdampf).



Atemluftsystem

- V Ventile
- AM Atemmaske
- AB Atembeutel
- GZ Gaszähler
- A Abzweig zur Gasanalyse
- GP Große Pumpe

Gas-Analyse System

- KP Kleine Pumpe
- MGK Meßgaskühler
- KW Kondenswasser
- CO_2A CO_2 -Analysator
- O_2A O_2 -Analysator

Abb. 1: Schema des Atemluft- und Gasanalysesystems

3.2.1.2. Registrierende Geräte und Meßeinrichtungen

Ein Zehnkanaldrückzählwerk (ELMEG) druckte in Minutenabständen folgende Werte aus (ULMER, 1970):

1. Uhrzeit
2. Zahlenwert, proportional der abgesaugten Luftmenge
3. Zahlenwert, proportional der Tretfrequenz

Ein Sechskanalkompensationsschreiber (RIKADENKI) registrierte fortlaufende folgende gemessene Größe:

Anzeige F_{O_2}

Anzeige F_{CO_2}

Zur Ermittlung der Herzfrequenz wurde ein EKG-Gerät (CARDIOSTAT) verwendet. Es handelte sich hierbei um einen Einkurvenschreiber, der als Batterie- und Netzgerät verwendet werden konnte. Dem Probanden wurden Thorax-Elektroden mittels einer breiten Gummimanschette angelegt. Die Herzfrequenz wurde durch Auszählen der EKG-Zacken bestimmt.

3.2.1.3. Sonstige Geräte und Meßeinrichtungen

Gegenüber der Standardausführung waren am ÅSTRAND-Ergometer in Anlehnung an frühere Untersuchungen (ULMER, 1970) folgende Veränderungen vorgenommen worden:

- a) Der normale Lenker und die Pedalen wurden gegen einen Rennlenker und Rennpedalen ausgetauscht.
- b) Der herkömmliche Sattel wurde gegen einen Rennsattel ausgetauscht, dessen Höhe sich in 7 Stufen von 2,5 cm verändern ließ.
- c) Über dem Schwungrad wurde ein Schutzblech angebracht, das ein Herabfallen von Schweißtropfen auf die Bremsriemen verhindern sollte, was sonst zu einer Veränderung der Bremsreibung geführt hätte.
- d) Ein übergroßes Handrad ($\varnothing$ 23 cm) ermöglichte gegenüber der Originalausführung eine exaktere Regulierung der Bremskraft.
- e) Die Bremskraft (kp) wurde mittels eines Feinschleifwiderstandes aufgezeichnet, der

durch einen Seilzug mit der Pendelwaage (Bremskraftanzeige) gekoppelt war.

- f) Die Drehzahl wurde mit einem Meßgenerator (FERNSTEUERGERÄTE) registriert. Dieser Generator gibt eine zur Drehzahl exakt proportionale Gleichspannung ab. Zusätzlich konnten die Versuchspersonen an einem serienmäßig angebrachten Tachometer die Tretgeschwindigkeit ablesen.
- g) Alle Leitungen der elektrischen Registriereinrichtungen (Feinschleifwiderstand und Meßgenerator) wurden zu einer eingebauten 10-Pol Buchse geführt.

Die relative Luftfeuchtigkeit und die Raumtemperatur wurden mit einem kombinierten Gerät (HYGRONOM) und der Luftdruck mit einem Quecksilberbarometer gemessen.

3.2.2. Vorbereitungen und Eichungen

Die meisten Versuche wurden in der Zeit von 8 - 12 Uhr durchgeführt, wobei jeweils mehrere Probanden ihre Versuche nacheinander tätigten. Eine strengere Handhabung des Versuchszeitpunktes war bei den Sportlern nicht möglich. Die CO_2 - und O_2 -Anzeige wurde vor und nach jedem Versuch unter Verwendung folgender Prüfgase abgeglichen:

Das "Nullgas" bestand aus reiner Pressluft:

20,95 % O_2
0,03 % CO_2

Das "Eichgas" bestand aus:

17,19 % O_2
3,18 % CO_2

Das Eichgas wurde mit einer Gasmischanlage (AVL-Gasmix) hergestellt. Der Abgleich der Anzeige für die gesamte Meßanlage wurde durch Zuleiten dreier Gase bei A (Abb. 1) vor jedem Versuch in folgender Reihenfolge durchgeführt:

- | | | |
|------------|-------------|------------|
| 1. Nullgas | 2. Raumluft | 3. Eichgas |
|------------|-------------|------------|

Um eventuelle Nullpunktverschiebungen feststellen zu können, wurde nach dem Versuch nochmals mit Raumluft abgeglichen.

3.3. Versuchsdurchführung

3.3.1. Festlegung von Belastungsstufen und Tretgeschwindigkeiten

Da aufgrund des Literaturstudiums angenommen werden mußte, daß bei Tretgeschwindigkeiten über 50 - 60 U/min der Wirkungsgrad abfällt, wurde in orientierenden Vorversuchen geprüft, welche Belastungsstufen bei 100 U/min zu Werten für die Sauerstoffaufnahme führen, die denjenigen von 50 U/min entsprechen. Die Belastungsstufe für 50 U/min wurde gemäß dem Vorschlag der Standardisierungskommission vorgegeben. Da es sich um unterschiedlich trainierte Ausdauer-Sportler handelte, wurde mit 150 Watt (bei 50 U/min) begonnen und alle 2 Minuten um 50 Watt gesteigert (MELLEROWICZ, 1975). Eine zufriedenstellende Übereinstimmung ergab sich dabei für folgende Leistungsstufen:

1. 50 U/min 150 200 250 300 350 400 (Watt)
2. 100 U/min 130 180 230 280 330 380 (Watt)

3.3.2. Festlegung der Reihenfolge der Einzelversuche

Um einen Gewöhnungseffekt während der Versuchsserie zu vermeiden, wurden die Versuche der einzelnen Probanden wechselweise mit 50 U/min und 100 U/min begonnen und anschließend im Wechsel mit 50 und 100 U/min durchgeführt. Bei der Auswertung der Ergebnisse wurde der erste Versuch nicht gewertet und die anschließenden vier Versuche herangezogen.

3.3.3. Einweisung der Versuchspersonen

Um einen möglichst einheitlichen Versuchsablauf zu garantieren, wurden die Versuchspersonen zu Beginn der Versuchsreihe darauf hingewiesen, daß sie nüchtern und ausgeruht zu den Versuchen erscheinen sollten. Weiterhin wurde darum gebeten, von Kaffee oder ähnlich wirkenden Getränken Abstand zu nehmen. Auch sollte das Rauchen vor Versuchsbeginn unbedingt unterbleiben.

Eine halbe Stunde vor Versuchsbeginn sollte sich die Versuchsperson auf einer Massage-
liege im Vorraum ausruhen und entspannen.

Versuchsanleitung:

Bei dem Versuch handelt es sich im wesentlichen um die Bestimmung der maximalen

Herzfrequenz. Wie bei jeder maximalen Belastung im Sport, ist auch bei maximaler Belastung im Labor ein geringes gesundheitliches Risiko gegeben. Als Versuchspersonen sollen Sie die vorgegebene Tretgeschwindigkeit auf dem Ergometer möglichst genau einhalten. Sie können dies am Tachometer kontrollieren. Von einer mäßigen Belastung ausgehend wird die Leistung alle zwei Minuten gesteigert, bis zu maximalen Belastungen. Kurz bevor Sie den Erschöpfungszustand erreicht zu haben glauben, geben Sie bitte ein Handzeichen. Den Zeitpunkt des Arbeitsabbruchs bestimmen auf jeden Fall Sie mit dem Zeitpunkt der Erschöpfung.

Nach dem Arbeitsabbruch legen Sie sich bitte noch 5 Minuten auf die Liege im Versuchsraum.

Danke.

3.4. Typischer Versuchsablauf

Vor jedem Versuchsdurchgang wurde die individuelle Sattelhöhe des Probanden eingestellt. Daraufhin setzten sich die Versuchspersonen auf das Fahrradergometer. Nach Anlegen der Atemmaske und der EKG-Elektroden sowie Überprüfung der angeschlossenen Registriereinrichtungen folgte eine Ruhepause von 5 Minuten, wobei die Herzfrequenz der letzten 15 Sekunden als Ruhewert galt. Auf ein Zeichen des Versuchsleiters begann der Proband mit dem eigentlichen Belastungsversuch. Jede Belastungsstufe dauerte 2 Minuten, danach wurde sie für weitere 2 Minuten um jeweils 50 Watt bis zum Erreichen der maximalen Ausbelastung erhöht. In den letzten 20 Sekunden einer jeden Belastungsstufe wurde der EKG-Schreiber eingeschaltet. Kurz vor Abbruch des Versuchs, signalisiert durch ein Zeichen der Testperson, wurde die maximale Herzfrequenz mit dem EKG-Schreiber registriert.

Anschließend blieb der Proband noch für weitere 5 Minuten auf dem Ergometer sitzen. Dabei wurde ihm auferlegt, leichte Leerbewegungen auszuführen. Die Atemmaske sowie das EKG-Gerät waren auch in dieser Zeit noch angelegt, die entsprechenden Werte der Erholungsphase wurden registriert. Anhand einer Skizze soll der Versuchsablauf demonstriert werden (siehe Abb. 2, S. 22).

O_2
[l]

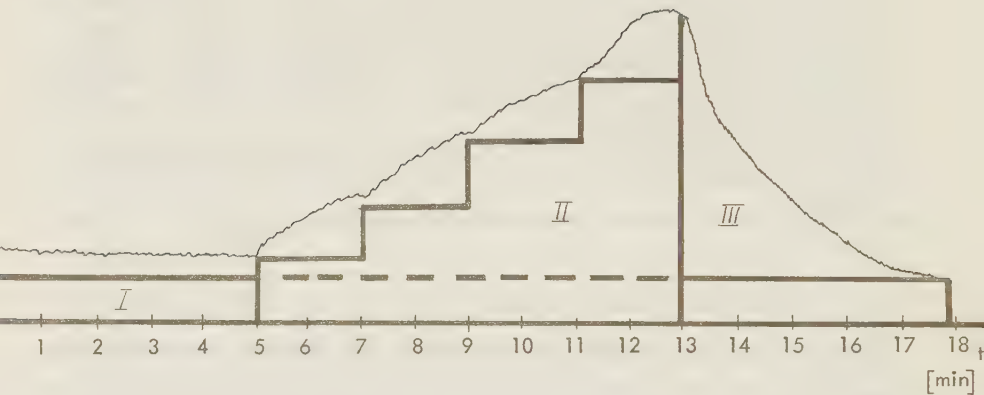


Abb. 2: Schema zum Versuchsablauf

- I. Vorruhe 0 - 5 [min]
- II. Belastungsversuch 5 - 13 [min]
- III. O_2 -Nachatmung in der Erholung 13 - 18 [min]

3.5. Übersicht der einzelnen Meßgrößen

1. max. O_2 -Aufnahme

Höchstwert während der letzten Arbeitsminute, gemessen in l/min bzw. $\frac{l}{min \times Kp}$

2. Plateau-Dauer der maximalen O_2 -Aufnahme

Dimension: sec

3. O_2 -Nachatmung in der Erholung

Mehraufnahme an Sauerstoff in den ersten fünf Erholungsminuten, bezogen auf die Sauerstoffaufnahme in der Ruhe-Vorperiode.

Dimension: l

4. max. CO_2 -Abgabe

Höchstwert während der letzten Arbeitsminute, gemessen in l/min bzw. $\frac{l}{min \times Kp}$

5. max. Respiratorischer Quotient

Der max. RQ errechnet sich aus dem Verhältnis max. CO_2 -Abgabe zu max. O_2 -Aufnahme; dimensionslos.

6. max. Herzfrequenz

Höchstwert in den letzten 15 sec vor Abbruch der Arbeit

Dimension: min^{-1}

7. Ruhe-Herzfrequenz

Wert gemessen in den letzten 15 sec der fünfminütigen Ruhepause vor Belastungsbeginn.

Dimension: min^{-1}

8. Körpergewicht

Gemessen mit einer SECA-Arztwaage. Ablesegenauigkeit: 0,05 kg

Dimension: kg

9. Körperlänge

Gemessen mit der zur Arztwaage gehörenden Meßlatte.

Ablesegenauigkeit: 0,5 cm

Dimension: cm

3.6. Auswertung der Versuche

3.6.1. Formel zur Berechnung der O_2 -Aufnahme

Die Sauerstoffaufnahme wird mittels nachfolgender Formel berechnet (ULMER, 1973 a):

$$\dot{V}_{\text{O}_2} = (1,265 \cdot \Delta F_{\text{O}_2} - 0,265 \cdot \Delta F_{\text{CO}_2}) \cdot \dot{V}_M$$

dabei bedeutet:

$\dot{V}_{\text{O}_2}$ = gemessene Sauerstoffmenge in l/min

ΔF_{O_2} = mittlere Differenz der O_2 -Fraktionen von Einatemluft und Mischluft

z.B. F_{O_2} in der Einatemluft = 0,2095 = 20,95 %

F_{O_2} in der Mischluft = 0,1695 = 16,95 %

dann gilt für F_{O_2} : 0,2095 - 0,1695 = 0,04

ΔF_{CO_2} = mittlere CO_2 -Konzentration in der Mischluft

$\dot{V}$ = Mischluftvolumen pro Zeiteinheit (hier l/min) (Gasuhranzeige).

Anschließend erfolgte eine Reduzierung auf STPD-Bedingungen (Korrekturfaktoren gemäß wissenschaftlicher Tabelle GEIGY).

3.6.2. Berechnung der Plateau-Dauer der maximalen O_2 -Aufnahme

Ausgehend von der Originalkurve wurde der Höchstwert der O_2 -Anzeige in der letzten Minute um 2 mm (ca. 1/25 Vol %) vermindert und eine Gerade in dieser Höhe gezogen. Schnitt die Registrierkurve diese Gerade in einem Zeitraum von mehr als 30 Sekunden vor Erreichen des Höchstwertes, wurde die zugehörige Zeitspanne als Plateau-Dauer ausgewertet.

3.6.3. Berechnung der O_2 -Nachatmung

Die O_2 -Nachatmung in den 5 Erholungsminuten wurde mittels der gleichen Formel wie in 3.6.1. berechnet. Die Konzentrationswerte wurden dabei planimetrisch bestimmt.

3.6.4. Statistische Verfahren

Als statistische Verfahren wurden Mittelwerte mit Standardabweichung, die Variationsbreite und t-Tests für unverbundene und ggf. für verbundene Stichproben benutzt. Die Berechnungsgrundlagen sowie die Signifikanztafeln wurden der einschlägigen statistischen Literatur entnommen (WEBER, 1961; CLAUS und EBNER, 1970). Die Variationsbreite wurde bei den Doppelversuchen als Differenz der Einzelergebnisse in % vom Mittelwert berechnet.

Die Berechnung wurde mit mehr Kommastellen durchgeführt, als schließlich bei den Ergebnistabellen aufgeführt wird. Zum Schluß wurden jeweils die Endwerte der Berechnungen auf die angemessen erscheinende Anzahl von Stellen hinter dem Komma auf- oder abgerundet.

4. ERGEBNISSE

4.1. Die Sauerstoffaufnahme

Bei der Sauerstoffaufnahme in Ruhe lagen die gemessenen Werte der einzelnen Probanden relativ dicht beieinander (Tab. 2). Beim Vergleich der Wiederholungsversuche mit gleicher Drehzahl lagen jeweils keine signifikanten Unterschiede vor, während sich für die Untergruppen 50 bzw. 100 U/min ein geringer signifikanter Unterschied ergab (Tab. 2).

Bei der maximalen Sauerstoffaufnahme (Tab. 3, Abb. 3) lagen die Werte bei 50 U/min und 100 U/min ziemlich eng beieinander. Der mittlere Wert betrug für die maximale Sauerstoffaufnahme bei 50 U/min 3,756 und bei 100 U/min 3,746 l/min. Die mittlere interindividuelle Differenz betrug 0,010 l/min. Es waren keine signifikanten Unterschiede feststellbar. Als Maß der Reproduzierbarkeit der Bestimmung der Sauerstoffaufnahme wurde die Variationsbreite berechnet (Tab. 4). Die Variationsbreite liegt mit 24 % bei den Ruhewerten erheblich höher als bei den Maximalwerten (Mittelwert ca. 5 %), bei denen sich auch je nach Drehzahlstufe ein deutlicher Unterschied zeigt.

4.2. Die Plateaudauer der O_2 -Aufnahme

In den meisten Fällen war kein ausgesprochenes Plateau zu erkennen. Deshalb wurde hier auf die übliche Berechnung der Werte verzichtet (Tab. 5).

4.3. O_2 -Nachatmung in der Erholung

Der interindividuelle Mittelwert der O_2 -Nachatmung betrug bei 50 U/min 4,13 l/min $\pm$ 1,41. Für 100 U/min lag der interindividuelle Mittelwert bei 4,69 l/min $\pm$ 1,06. Zwischen den beiden Werten war kein signifikanter Unterschied feststellbar (Tab. 6).

4.4. Der maximale Respiratorische Quotient (RQ) bei Arbeit

Die gemessenen Werte für den maximalen RQ bei 50 U/min und 100 U/min liegen mit wenigen Ausnahmen eng beieinander (Tab. 7, Abb. 4). Der mittlere interindividuelle Mittelwert für den RQ betrug sowohl bei 50 als auch bei 100 U/min jeweils 1,17 mit geringen Standardabweichungen.

Bei der routinemäßigen Signifikanzprüfung (mit 3 Stellen hinter dem Komma) ergab sich erwartungsgemäß kein signifikanter Unterschied.

4.5. Die zeitliche Dauer der Versuche

Der interindividuelle Mittelwert der Versuchsdauer betrug bei 50 U/min 7,6 min, die Standardabweichung war hierbei $\pm 0,8$ min. Für 100 U/min lag der interindividuelle Mittelwert bei 9,1 min, die Standardabweichung betrug $\pm 1,2$ min. Zwischen den beiden Wiederholungsversuchen bei jeweils 50 U/min und 100 U/min war kein signifikanter Unterschied feststellbar (Tab. 8, Abb. 5).

4.6. Dauer der letzten Belastungsstufe

Der interindividuelle Mittelwert von 50 U/min lag bei 74 sec ± 28 Standardabweichung. Für 100 U/min lag der interindividuelle Mittelwert bei 75,00 sec ± 33 Standardabweichung. Es waren keine signifikanten Unterschiede festzustellen (Tab. 9).

4.7. Abbruch der Versuche bei den jeweils erreichten Endleistungen

Aus Tabelle 7 kann man eindeutig ersehen, daß bei den Versuchsreihen mit 50 U/min und 100 U/min die erreichten höchsten Leistungsstufen (Watt) fast immer dieselben waren. Lediglich bei drei der zwölf Versuchspersonen (Vp. 7, Vp. 9, Vp. 11) zeigten sich im Wiederholungsversuch Unterschiede in der Endleistungsstufe. Der interindividuelle Mittelwert bei 100 U/min betrug 328 Watt ± 26 Standardabweichung. Bei 50 U/min lag er bei 309 Watt ± 25 Standardabweichung. Hier war zwischen den beiden Gruppen ein signifikanter Unterschied festzustellen (Tab. 10).

4.8. Die Herzfrequenz

Die Herzfrequenz in Ruhe wurde sitzend auf dem Fahrradergometer am Ende der fünfminütigen Vorruhe gemessen. Die mittlere Ruhe-Herzfrequenz aller Probanden betrug 85 min^{-1} . Besonders hoch scheint der Ruhewert von Vp. 7 mit 96 min^{-1} zu sein. Lediglich die Frequenzen von Vp. 1 und Vp. 3 mit 71 min^{-1} liegen im Erwartungsbereich (Tab. 11).

Die max. Herzfrequenz wurde vor Abbruch der Versuche gemessen. Die mittleren Werte bei der Umdrehungszahl 50 U/min betrugen $191 \pm 10 \text{ min}^{-1}$ bei 100 U/min betrugen sie $195 \pm 9 \text{ min}^{-1}$. Zwischen diesen beiden Werten war ein signifikanter Unterschied fest-

stellbar (2 P 0,01). Lediglich bei der Versuchsperson 6 (B.R.) war eine einmalige, deutliche Abweichung mit 208 min^{-1} feststellbar. Trotz gewissenhafter Überprüfung dieses vermutlichen Ausreißer-Wertes konnte keine Ursache gefunden werden, so daß dieser Wert nicht eliminiert wurde (Tab. 12).

Tabellen 2 - 12; Abbildungen 3 - 5

Vp		a 2.0.3.V. 50 U/min	b 3.0.2.V. 100 U/min	c 4.0.3.V. 50 U/min	d 5.0.4.V. 100 U/min	intraindiv. Mittelwerte	ml kgmin
1	G.W.	0,412	0,432	0,579	0,584	0,501	6,4
2	H.D.	0,434	0,411	0,332	0,425	0,400	6,1
3	J.Z.	0,326	0,401	0,724	0,296	0,437	5,2
4	H.S.	0,482	0,470	0,484	0,510	0,487	5,5
5	L.R.	0,756	0,312	0,484	0,591	0,532	6,9
6	B.R.	0,518	0,311	0,567	0,413	0,452	6,3
7	H.K.	0,648	0,430	0,435	0,380	0,487	6,4
8	G.K.	0,501	0,367	0,572	0,434	0,468	6,3
9	G.N.	0,525	0,403	0,610	0,550	0,522	6,6
10	T.S.	0,330	0,463	0,428	0,277	0,522	5,8
11	M.S.	0,436	0,493	0,423	0,423	0,428	5,4
12	P.F.	0,463	0,397	0,523	0,377	0,440	6,4

Gruppe	n	interindiv. Mittelwerte	U/min	s	Differenzen	t	2p
a	12	0,485	50	0,121	0,028	0,5462	0,05 n.s.
c	12	0,513	50	0,104	$\pm$ 0,174		
b	12	0,407	100	0,056	0,031	0,833	0,05 n.s.
d	12	0,438	100	0,102	$\pm$ 0,128		
a + c	24	0,499	50	0,111	0,77	2,5332	0,01 s.
b + d	24	0,422	100	0,082	$\pm$ 0,146		

Tabelle 2: Sauerstoffaufnahme in Ruhe der 12 Probanden [l/min]

- oben: Ergebnisse des jeweils ersten Versuchs (a) und des Wiederholungsversuchs (c) bei 50 U/min und des jeweils ersten Versuchs (b) und des Wiederholungsversuchs (d) bei 100 U/min. Weiterhin sind die intraindividuellen Mittelwerte der relativen Sauerstoffaufnahme (bezogen auf kg-Körpergewicht) und die interindividuellen Mittelwerte einschließlich Standardabweichung eingetragen.
- unten: Mittelwertsdifferenzen verschiedener Untergruppen einschließlich Signifikanzprüfung mit dem t-Test für verbundene Stichproben; n.s. = nicht signifikant, s = signifikant (bezogen auf 5 % Niveau).

Vp		a 2.0.3.V. 50 U/min	b 3.0.2.V. 100 U/min	c 4.0.3.V. 50 U/min	d 5.0.4.V. 100 U/min	intraindiv. Mittelwerte	ml kgmin
1	G.W.	4,050	3,761	3,721	3,812	3,836	49,2
2	H.D.	3,635	3,247	3,790	3,230	3,475	53,5
3	J.Z.	4,053	4,189	3,553	4,050	3,961	47,2
4	H.S.	3,647	3,664	3,714	3,658	3,671	42,2
5	L.R.	3,447	3,566	3,647	3,727	3,597	47,3
6	B.R.	4,019	3,930	3,881	3,997	3,957	55,7
7	H.K.	3,258	3,431	3,633	3,541	3,466	46,2
8	G.K.	3,580	3,706	3,708	3,975	3,742	50,6
9	G.N.	3,720	3,563	3,780	3,823	3,721	47,7
10	T.S.	3,352	3,412	3,668	3,476	3,477	54,3
11	M.S.	4,081	4,522	4,928	4,398	4,482	55,3
12	P.F.	3,758	3,546	3,533	3,699	3,634	53,4
interindividueller Mittelwert						3,751	
Standardabweichung						+ 0,287	

Gruppe	n	interindiv. Mittelwerte	U/min	s	Differenzen	t	2p
a	12	3,716	50	0,286	0,080	0,7756	0,05
c	12	3,796	50	0,369	$\pm 0,356$		n.s.
b	12	3,711	100	0,355	0,071	1,8792	0,05
d	12	3,782	100	0,304	$\pm 0,130$		n.s.
a + c	24	3,756	50	0,325	0,010	0,1796	0,05
b + d	24	3,746	100	0,325	$\pm 0,264$		n.s.

Tabelle 3: Die maximale O₂-Aufnahme der 12 Probanden [l/min]

a, b, c, d und Signifikanzprüfung siehe Tabelle 2.

Eingetragen sind die intraindividuellen Meßergebnisse der Probanden sowie die intraindividuellen Mittelwerte der maximalen Sauerstoffaufnahme und deren Relativwerte [ml/kg x min], ferner die interindividueller Mittelwerte einschließlich Standardabweichung.

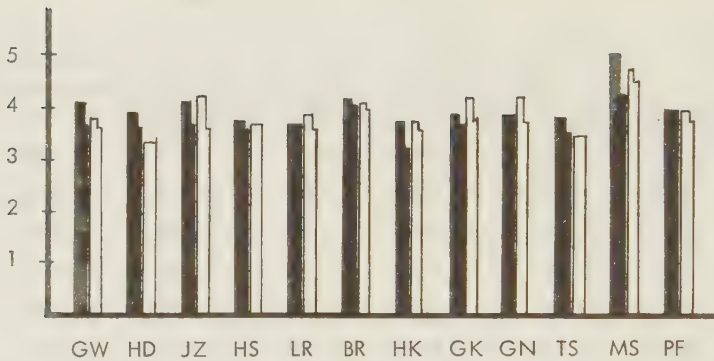


Abb. 3: Darstellung der gemessenen maximalen Sauerstoffaufnahme

■ Versuche bei 50 U/min
□ Versuche bei 100 U/min

Vp		Ruhe $\dot{V}O_2$		max. $\dot{V}O_2$	
		a+c (50 U/min)	b+d (100 U/min)	a+c (50 U/min)	b+d (100 U/min)
1	G.W.	34	29	8	1
2	H.D.	26	3	4	0
3	J.Z.	75	30	13	3
4	H.S.	0	8	1	0
5	L.R.	43	61	5	4
6	B.R.	9	28	3	1
7	H.K.	39	12	10	3
8	G.K.	13	16	3	7
9	G.N.	14	30	1	7
10	T.S.	25	50	9	1
11	M.S.	3	15	18	2
12	P.F.	12	5	6	4
Mittelwerte		24,4	23,9	6,8	2,8
s		21,1	17,9	5,1	2,4
Mittelwerte		24,2		4,8	

Tabelle 4: Zur Variationsbreite der Sauerstoffaufnahme (Ruhe und maximale), getrennt nach den beiden Drehzahlstufen (jeweils in % des Mittelwertes aus den Wiederholungsversuchen).

Vp		a 2.0.3.V. 50 U/min	b 3.0.2.V. 100 U/min	c 4.0.3.V. 50 U/min	d 5.0.4.V. 100 U/min
1	G.W.	-	50	70	-
2	H.D.	60	-	-	-
3	J.Z.	50	-	-	-
4	H.S.	30	30	-	70
5	L.R.	45	-	-	30
6	B.R.	-	-	-	-
7	H.K.	-	-	-	-
8	G.K.	-	-	45	-
9	G.N.	30	-	-	30
10	T.S.	-	-	-	-
11	M.S.	-	40	-	30
12	P.F.	50	70	-	-

Tabelle 5: Die Plateau-Dauer der O_2 -Aufnahme der 12 Probanden [sec]

a, b, c, d siehe Tabelle 2.

Eingetragen sind die individuellen Meßergebnisse der Probanden.

Vp		a 2.0.3.V. 50 U/min	b 3.0.2.V. 100 U/min	c 4.0.3.V. 50 U/min	d 5.0.4.V. 100 U/min
1	G.W.	8,19	6,54	3,28	3,29
2	H.D.	5,23	2,85	5,53	5,73
3	J.Z.	6,49	6,53	2,40	5,48
4	H.S.	3,30	5,99	5,39	3,78
5	L.R.	1,67	5,27	3,42	5,18
6	B.R.	4,14	4,80	3,45	4,49
7	H.K.	2,81	4,07	4,79	3,59
8	G.K.	3,07	3,66	2,45	4,63
9	G.N.	3,79	4,84	4,06	4,18
10	T.S.	4,08	3,31	3,58	3,81
11	M.S.	4,29	6,01	4,99	5,88
12	P.F.	4,54	4,13	4,29	4,67

Gruppe	n	interindiv. Mittelwerte	U/min	s	Differenzen	t	2p
a	12	4,30	50	1,72	0,34	0,5234	0,05
c	12	3,96	50	1,05	$\pm 2,18$		n.s.
b	12	4,83	100	1,25	0,27	0,6148	0,05
d	12	4,56	100	0,86	$\pm 1,54$		n.s.
a + c	24	4,13	50	1,41	0,56	1,8346	0,05
b + d	24	4,69	100	1,06	$\pm 1,49$		n.s.

Tabelle 6: Die vermehrte Sauerstoffnachatmung der 12 Probanden in der Erholungsphase [1]. a, b, c, d und Signifikanzprüfung siehe Tabelle 2. Eingetragen sind die individuellen Meßergebnisse der Probanden sowie die interindividuellen Mittelwerte (M) einschließlich Standardabweichung.

Vp		a 2.0.3.V. 50 U/min	b 3.0.2.V. 100 U/min	c 4.0.3.V. 50 U/min	d 5.0.4.V. 100 U/min	intraindiv. Mittelwerte
1	G.W.	1,32	1,39	1,18	1,31	1,30
2	H.D.	1,18	1,39	1,36	1,33	1,31
3	J.Z.	1,35	1,24	1,31	1,33	1,33
4	H.S.	1,14	1,09	1,19	1,08	1,12
5	L.R.	1,10	1,11	1,19	1,15	1,14
6	B.R.	1,16	1,16	1,18	1,17	1,17
7	H.K.	1,27	1,22	1,18	1,20	1,22
8	G.K.	1,04	1,08	1,01	1,11	1,06
9	G.N.	1,17	1,15	1,15	1,12	1,15
10	T.S.	1,21	1,15	1,22	1,19	1,19
11	M.S.	1,09	1,11	1,05	1,11	1,09
12	P.F.	0,96	0,87	1,03	1,05	0,98
interindividueller Mittelwert						1,17
Standardabweichung						± 0,10

Gruppe	n	interindiv. Mittelwerte	U/min	s	Differenzen	t	2p
a	12	1,17	50	0,11	0,01	0,3741	0,05
c	12	1,18	50	0,11	± 0,08		n.s.
b	12	1,16	100	0,14	0,02	0,7052	0,05
d	12	1,18	100	0,09	± 0,07		n.s.
a + c	24	1,17	50	0,11	0,00	0,0264	0,05
b + d	24	1,17	100	0,12	± 0,01		n.s.

Tabelle 7: Der maximale Respiratorische Quotient der 12 Probanden

a, b, c, d und Signifikanzprüfung siehe Tabelle 2.

Eingetragen sind die intraindividuellen Meßergebnisse der Probanden sowie die interindividuellen Mittelwerte (M) einschließlich Standardabweichung.

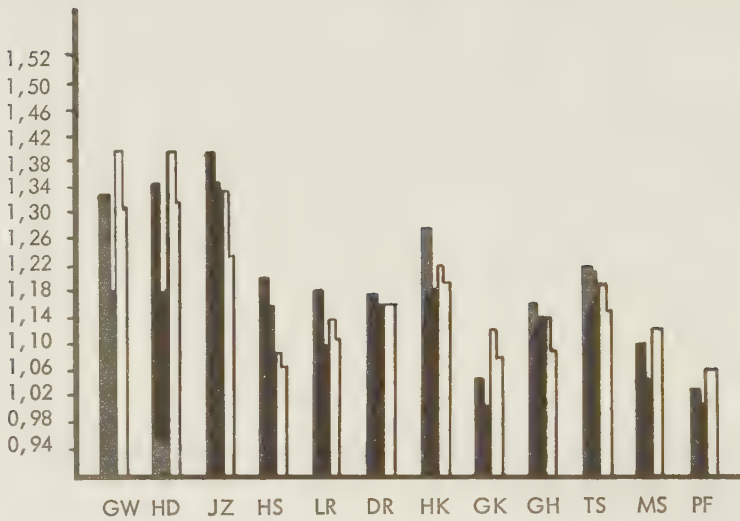


Abb. 4: Darstellung des gemessenen Respiratorischen Quotient

■ Versuche bei 50 U/min
□ Versuche bei 100 U/min

Vp		a 2.0.3.V. 50 U/min	b 3.0.2.V. 100 U/min	c 4.0.3.V. 50 U/min	d 5.0.4.V. 100 U/min
1	G.W.	8,33	11,42	8,75	11,42
2	H.D.	7,25	9,17	7,83	9,42
3	J.Z.	9,85	10,05	8,83	10,75
4	H.S.	7,33	9,00	7,33	10,00
5	L.R.	6,83	8,25	7,17	8,50
6	B.R.	7,58	9,33	7,50	8,83
7	H.K.	6,00	7,58	7,00	8,00
8	G.K.	6,67	9,33	7,33	9,17
9	G.N.	6,67	8,00	7,33	8,67
10	T.S.	6,65	7,17	7,33	7,50
11	M.S.	7,83	10,00	8,42	10,33
12	P.F.	6,92	7,75	7,67	7,92

Gruppe	n	interindiv. Mittelwerte	U/min	s	Differenzen	t	2p
a	12	7,20	50	1,03	0,50	2,4365	0,05 s.
c	12	7,70	50	0,62	$\pm 0,59$		
b	12	8,92	100	1,22	0,28	2,4941	0,05 s.
d	12	9,20	100	1,21	$\pm 0,40$		
a + c	24	7,52	50	0,83	1,54	9,4656	0,001 s.
b + d	24	9,06	100	1,20	$\pm 0,79$		

Tabelle 8: Die zeitliche Dauer der Versuche der 12 Probanden [min]

a, b, c, d und Signifikanzprüfung siehe Tabelle 2.

Eingetragen sind die individuellen Meßergebnisse der Probanden sowie die interindividuellen Mittelwerte (M) einschließlich Standardabweichung.

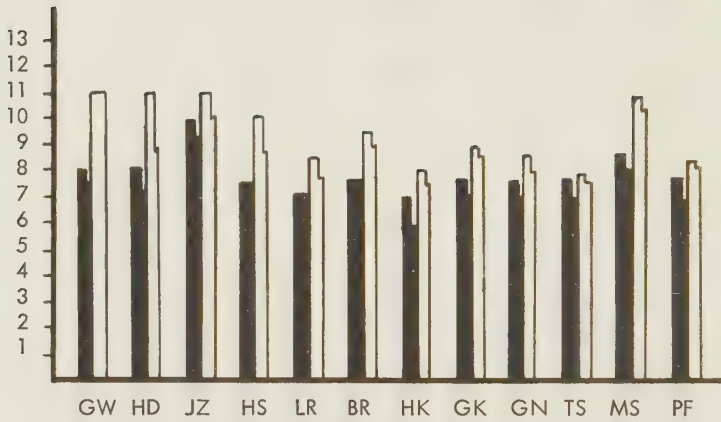


Abb. 5: Darstellung der zeitlichen Dauer der Versuche

■ Versuche bei 50 U/min
□ Versuche bei 100 U/min

Vp		a	b	c	d
		2.0.3.V. 50 U/min	3.0.2.V. 100 U/min	4.0.3.V. 50 U/min	5.0.4.V. 100 U/min
1	G.W.	20	85	105	85
2	H.D.	75	70	110	85
3	J.Z.	110	30	50	45
4	H.S.	80	60	80	120
5	L.R.	50	15	70	30
6	B.R.	95	80	90	50
7	H.K.	120	95	60	120
8	G.K.	40	80	80	70
9	G.N.	40	120	80	40
10	T.S.	45	70	80	90
11	M.S.	110	120	25	20
12	P.F.	55	105	100	115

Gruppe	n	interindiv. Mittelwerte	U/min	s	Differenzen	t	2p
a	12	70	50	33	0,00	0,0055	0,05
c	12	70	50	30	± 52		n.s.
b	12	77	100	32	5	0,3827	0,05
d	12	72	100	35	± 45		n.s.
a + c	24	74	50	28	1	0,1548	0,05
b + d	24	75	100	33	± 40		n.s.

Tabelle 9: Die Dauer der letzten Belastungsstufe der 12 Probanden [sec]

a, b, c, d und Signifikanzprüfung siehe Tabelle 2.

Eingetragen sind die individuellen Meßergebnisse der Probanden sowie die interindividuellen Mittelwerte (M) einschließlich Standardabweichung.

Vp		a 2.0.3.V. 50 U/min	b 3.0.2.V. 100 U/min	c 4.0.3.V. 50 U/min	d 5.0.4.V. 100 U/min	intraindiv. Mittelwerte
1	G.W.	350	380	350	380	365
2	H.D.	300	330	300	330	315
3	J.Z.	350	380	350	380	365
4	H.S.	300	330	300	330	315
5	L.R.	300	330	300	330	315
6	B.R.	300	330	300	330	315
7 ^x	H.K.	250	330	300	280	290
8	G.K.	300	330	300	330	315
9 ^x	G.N.	300	280	300	330	302
10	T.S.	300	280	300	280	290
11 ^x	M.S.	300	330	350	380	340
12	P.F.	300	280	300	280	290
interindividueller Mittelwert						318
Standardabweichung						± 26

Gruppe	n	interindiv. Mittelwerte	U/min	s	Differenzen	t	2p
a	12	304	50	26	8 ± 19	1,4029	0,05 n.s.
c	12	312	50	23			
b	12	326	100	33	4 ± 26	0,5604	0,05 n.s.
d	12	330	100	37			
a + c	24	309	50	25	19 ± 26	3,5392	0,01 s.
b + d	24	328	100	35			

Tabelle 10: Abbruch der Versuche bei den jeweils erreichten Endleistungen (Watt) der 12 Probanden

a, b, c, d und Signifikanzprüfung siehe Tabelle 2.

Eingetragen sind die individuellen Meßergebnisse der Probanden in (Watt) sowie die interindividuellen Mittelwerte (M) einschließlich Standardabweichung.

^x) Bei diesen Probanden keine Übereinstimmung im Wiederholungsversuch.

Vp		a 2.0.3.V. 50 U/min	b 3.0.2.V. 100 U/min	c 4.0.3.V. 50 U/min	d 5.0.4.V. 100 U/min	intraindiv. Mittelwerte
1	G.W.	65	69	68	83	71
2	H.D.	105	90	73	84	88
3	J.Z.	65	70	75	74	71
4	H.S.	82	83	75	70	78
5	L.R.	100	86	107	88	95
6	B.R.	88	70	105	89	88
7	H.K.	80	104	91	107	96
8	G.K.	88	92	94	75	87
9	G.N.	91	89	88	79	87
10	T.S.	87	78	70	86	80
11	M.S.	93	109	75	79	89
12	P.F.	101	85	85	77	87
interindividueller Mittelwert						85
Standardabweichung						± 7

Gruppe	n	interindiv. Mittelwert	U/min	s	Differenzen	t	2p
a	12	87	50	13	3	0,4111	0,05
c	12	84	50	13	± 12		n.s.
b	12	86	100	13	3	0,3207	0,05
d	12	83	100	10	± 14		n.s.
a + c	24	85	50	12	1	0,4273	0,05
b + d	24	84	100	11	± 10		n.s.

Tabelle 11: Die Ruheherzfrequenz der 12 Probanden $[\text{min}^{-1}]$

a, b, c, d und Signifikanzprüfung siehe Tabelle 2.

Eingetragen sind die intraindividuellen Meßergebnisse der Probanden sowie die interindividuellen Mittelwerte (M) einschließlich Standardabweichung.

Vp		a 2.0.3.V. 50 U/min	b 3.0.2.V. 100 U/min	c 4.0.3.V. 50 U/min	d 5.0.4.V. 100 U/min	intraindiv. Mittelwerte
1	G.W.	181	189	184	193	187
2	H.D.	195	202	195	198	197
3	J.Z.	198	181	177	191	187
4	H.S.	204	203	205	200	203
5	L.R.	210	206	211	217	211
6	B.R.	178	208 ^x	173	180	185
7	H.K.	198	211	204	204	204
8	G.K.	186	196	182	192	189
9	G.N.	193	197	186	191	192
10	T.S.	189	184	190	191	191
11	M.S.	192	190	184	188	188
12	P.F.	188	197	191	195	193
interindividueller Mittelwert						194
Standardabweichung						± 8

Gruppe	n	interindiv. Mittelwert	U/min	s	Differenzen	t	2p
a	12	193	50	9	2	0,884	0,05
c	12	191	50	12	± 8		n.s.
b	12	197	100	10	2	0,483	0,05
d	12	195	100	9	± 11		n.s.
a + c	24	191	50	10	4	2,286	0,01
b + d	24	195	100	9	$\pm 9,0$		s.

Tabelle 12: Die maximale Herzfrequenz der 12 Probanden $[\text{min}^{-1}]$

a, b, c, d und Signifikanzprüfung siehe Tabelle 2.

Eingetragen sind die interindividuellen Meßergebnisse der Probanden sowie die interindividuellen Mittelwerte (M) einschließlich Standardabweichung.

^x) vermutlicher Ausreißer-Wert

5. DISKUSSION

5.1. Diskussion der einzelnen Meßergebnisse

5.1.1. Gaswechselgrößen

Betrachtet man die durchschnittliche Ruhe-Sauerstoffaufnahme der einzelnen Sportler, so fällt auf, daß sie im Mittel bei 50 U/min 0,499 l/min (bei 100 U/min 0,422 l/min) betrug. Diese Sauerstoffaufnahme entspricht bei einem kalorischen Äquivalent von 4,83 kcal/l O_2 einem Energieumsatz von 3,479 kcal/Tag oder 1,9 kcal/kg Körpergewicht und Stunde (bei 100 U/min: 2,935 kcal/Tag bzw. 1,6 kcal/kg x h).

Diese Werte liegen deutlich über Grundumsatzwerten. Dies ist jedoch nicht verwunderlich, wenn man bedenkt, daß die Grundumsatzbedingungen unter den vorherrschenden Versuchsbedingungen nicht eingehalten werden konnten. Dies lag u.a. daran, daß es sich bei den Probanden um Sportstudenten handelt, die auf ihr tägliches Übungsprogramm nicht verzichten konnten. Die Probanden befanden sich keineswegs unter echten Ruhebedingungen, sondern vermutlich auch noch in einer gewissen Erwartungssituation (Vorstartzustand siehe S. 11).

Zwischen den Erst- und Wiederholungsversuchen bei jeweils 50 bzw. 100 U/min bestand kein signifikanter Unterschied (Mittelwert für die O_2 -Aufnahme in Ruhe, siehe Tab. 2, s. 28). Für den Unterschied bei Gegenüberstellung der Werte von 50 und 100 U/min kann keine plausible Begründung gegeben werden (siehe S. 30).

Die maximale Sauerstoffaufnahme der Probanden lag im Mittel bei 3,75 l/min entsprechend 49,4 ml/kg Körpergewicht. Verglichen mit den Maximalwerten der Literatur (MELLEROWICZ, 1965; ÅSTRAND, 1952) liegt dieser Wert nicht besonders hoch. Wenn man die einzelnen Sportdisziplinen der Probanden berücksichtigt (s. Tab. 1, S. 15), waren allerdings auch keine Höchstwerte für Ausdauertrainierte zu erwarten.

Die maximale Sauerstoffaufnahme stellte bei der vorliegenden Untersuchung die wesentliche Prüfgröße dar. Vergleicht man nun den Effekt der Tretgeschwindigkeit auf die gemessene maximale Sauerstoffaufnahme, so sieht man, daß zwischen den Mittelwerten bei 50 bzw. 100 U/min nur ein äußerst geringer Unterschied von 10 ml/min zu finden ist (Tab. 3, S. 29). Dieser Unterschied erscheint allein schon vom Beitrag her ausgesprochen unwesentlich. Insofern ergibt auch die statistische Prüffunk keinen Hinweis auf ei-

nen signifikanten Unterschied.

Daher muß schon hier die Erwartung revidiert werden, daß gemäß den Überlegungen in Kapitel 2.6 die maximale Sauerstoffaufnahme bei einer höheren Tretgeschwindigkeit höhere Werte aufweist. Eine unterschiedliche Ausbelastung unserer Probanden ließ sich hier anhand der maximalen Sauerstoffaufnahme nicht nachweisen.

Der Respiratorische Quotient liegt im Mittel bei 1,17 (Tab. 7, S. 33). Dieser RQ liegt somit deutlich über 1,0 und er läßt sich dahingehend interpretieren, daß sich die Versuchspersonen in einem erheblichen Maße verausgabten; geht man doch gemeinhin davon aus, daß Werte über 1,0 als Kriterien höchster Beanspruchung angesehen werden (STEGEMANN, 1971). Wenn hier bei den beiden Drehzahlbereichen keine wesentlichen Unterschiede gefunden werden, so ergibt sich auch aus dieser respiratorischen Größe kein Hinweis darauf, daß sich die Probanden verschieden stark verausgabten.

Unter der Annahme, daß in vielen Fällen die Bedingung des "leveling off" erreicht wurde, wurde die Plateaudauer der Sauerstoffaufnahme in der letzten Belastungsstufe gemäß dem auf Seite 37 genannten Kriterium ausgewertet. Die Erfassung eines solchen Plateaus wurde erst dann als sinnvoll angesehen, wenn die Sauerstoffaufnahme mindestens über die letzten 30 Sekunden konstant war. Unter dieser Bedingung wurde in insgesamt 17 Fällen von 48 Versuche ein "leveling off" von mehr als 30 Sekunden beobachtet. Hierbei läßt sich allerdings kein systematischer Unterschied in Abhängigkeit von der Tretgeschwindigkeit erkennen, so daß aufgrund der geringen Fallzahl auf eine statistische Auswertung verzichtet wurde.

Beim Vergleich der vermehrten O_2 -Nachatmung in der Erholung fällt auf, daß bei der Drehzahlstufe von 100 U/min insgesamt fast 0,6 Liter Sauerstoff mehr nachgeatmet wurde als bei der Drehzahlstufe von 50 U/min (Tab. 6, S. 32). Selbst wenn man davon ausgeht, daß eine Interpretation der sogenannten Sauerstoffschuld gemäß KEUL und Mitarb. (1969) problematisch ist, so fällt beim Vergleich unter sonst gleichen Bedingungen auf, daß bei der höheren Drehzahl der Anteil der Sauerstoffschuld in den ersten 5 Minuten der O_2 -Nachatmung um rund 14 % höher lag als bei der Drehzahlstufe von 50 U/min. Dieser Unterschied liegt dicht an der Signifikanzgrenze, daher soll bei aller Zurückhaltung der vorsichtige Schluß gezogen werden, daß der Anteil der anaero-

ben Energiegewinnung bei den Versuchen mit 100 U/min geringfügig höher lag als bei der niedrigen Drehzahl, so daß eine entsprechend höhere Sauerstoffmenge nachgeatmet werden mußte. Dies kann ein geringer Hinweis darauf sein, daß bei den Versuchen mit 100 U/min eine etwas größere Ausbelastung aufgetreten sein könnte.

5.1.2. Besprechung der ergometrischen Daten

Die zeitliche Dauer der Versuche war bei den Versuchen mit 100 U/min durchschnittlich um 1,54 min länger als bei den Versuchen mit 50 U/min. Die mittlere Dauer der letzten Leistungsstufe betrug in beiden Fällen rund 1,25 min (Tab. 9, S. 37). Die Höhe der letzten Belastungsstufe lag bei den Versuchen mit 100 U/min im Mittel um fast 20 Watt höher als bei den Versuchen mit 50 U/min. Diese beiden Unterschiede ergometrischer Daten sind signifikant (Tab. 8, S. 35 und Tab. 10, S. 38).

Wenn man diese ergometrischen Daten interpretieren will, muß man berücksichtigen, daß wegen des zu erwartenden unterschiedlichen Wirkungsgrades die vorgegebenen Leistungsstufen bei 50 und 100 U/min nicht identisch waren (siehe S. 20). Wegen des geringeren Wirkungsgrades bei 100 U/min wurden kleinere Steigerungen der Belastungsstufen vorgenommen, wobei es sich in orientierenden Vorversuchen gezeigt hatte, daß die Sauerstoffaufnahme bei den dann gewählten Belastungsstufen jeweils weitgehend übereinstimmte. Man sieht, daß einerseits bei dem Drehzahlbereich von 100 U/min höhere Endleistungen erreicht wurden - über eine insgesamt längere Versuchsdauer-, andererseits aber die letzte Belastungsstufe jeweils gleich lange "durchgehalten" wurde. Dies läßt den Schluß zu, daß die Probanden aufgrund ihrer ergometrischen Leistung bei 100 U/min nicht nur objektiv eine höhere Maximalleistung erreichten, sondern auch hinsichtlich ihrer Beanspruchung bei 100 U/min und 328 Watt wegen des ungünstigen Wirkungsgrades und der längeren Belastungszeit eine deutlich größere physiologische Leistung verrichteten als bei 50 U/min mit nur 309 Watt.

Wenn auch die Dauer des Belastungstests bei 100 U/min länger war als bei 50 U/min, so bestätigte dies, daß die Probanden bei der höheren Drehzahl eine größere physiologische Leistung vollbrachten. Geht man nämlich davon aus, daß die Ermüdung bei schwerer Arbeit von Belastungsintensität und -dauer abhängt, so wäre allein schon bei gleichen Leistungsstufen und einer insgesamt längeren Belastungszeit auch eine größere Ermüdung

zu erwarten. Insofern wird man vermuten dürfen, daß die Ermüdung der Probanden bei 100 U/min auch größer war als bei 50 U/min, einmal wegen der höheren erreichten Leistung, zum anderen wegen der größeren Belastungszeit. Leider können hier über die Ermüdung nur Mutmaßungen angestellt werden, da Messungen wie Erholungspulssumme oder Bestimmung der Laktatkonzentrationen im Blut nicht durchgeführt wurden.

Berechnet man aus der Endleistung und zugehörigen maximalen Sauerstoffaufnahme unter Zugrundelegung eines kalorischen Äquivalents von 4,82 kcal/l O_2 den Wirkungsgrad, so ergibt sich dafür bei 50 U/min ein Wert von 39 % und bei 100 U/min ein Wert von 42 %. Diese Art der Wirkungsgradberechnung erweckt den Eindruck, daß bei höheren Drehzahlen ein günstigerer Wirkungsgrad vorliegt. Dies steht aber in Widerspruch zu allen Befunden aus der Literatur und läßt sich damit erklären, daß bei der vorliegenden Berechnung die anaerobe Energiegewinnung nicht berücksichtigt wurde. Eine derartige Berechnungsweise ist also nicht zulässig. Dies zeigte sich auch darin, daß die berechneten Wirkungsgradwerte weit über dem Erwartungswert von rund 25 % lagen (STEGEMANN, 1971).

5.1.3. Herzfrequenz

Die Ausgangswerte der Herzfrequenz in Ruhe liegen mit einem Mittelwert von 85 min^{-1} erheblich über den Erwartungswerten für Ausdauertrainierte (KNOPP und Mitarb., 1973). Selbst wenn man davon ausgeht, daß der durchschnittliche Ausdauer-Trainingszustand der Probanden nicht besonders hoch war, so wird man doch hieraus den Schluß ziehen können, daß die Probanden in der Ruhepause einem gewissen Vorstartzustand unterlagen (STEINBACH, 1970), der sich unter anderem auch in der erhöhten Ruheherzfrequenz ausdrückt.

Ein Vergleich der maximalen Herzfrequenz zeigt, daß Werte von über 190 min^{-1} erreicht wurden. Diese Werte liegen durchaus im Bereich der Maximalwerte vergleichbarer Gruppen (MELLEROWICZ, 1965). Es zeigte sich, daß bei höheren Drehzahlen eine um 4 min^{-1} höhere Herzfrequenz eingestellt wurde. Dieser Unterschied ist auch signifikant (siehe Tab. 12, S. 40). Auch dieser Befund soll nur zurückhaltend interpretiert werden, er könnte ein Zeichen dafür sein, daß die Probanden gemäß der höheren physiologischen Leistungen bei 100 U/min auch eine etwas höhere maximale Herzfrequenz erreichten.

Für die Sauerstoffaufnahme als auch für die Herzfrequenz erwartet man ein "leveling off".

Verhalten bei ansteigender Belastung. Für die Sauerstoffaufnahme waren keine Unterschiede der Maximalwerte nachweisbar, das "leveling off" war also erreicht. Für die Herzfrequenz stellte sich jedoch ein signifikanter Unterschied ein, dies könnte darauf hindeuten, daß die Zeitpunkte für den Eintritt des "leveling off" bei Herzfrequenz und maximaler Sauerstoffaufnahme nicht übereinstimmen. Hierüber konnten in der Literatur keine Hinweise gefunden werden, so daß zumindest nicht ausgeschlossen werden kann, daß die höhere maximale Herzfrequenz Ausdruck einer größeren Ausbelastung ist.

5.2. Zu den Versuchspersonen

Bei den Versuchspersonen handelt es sich um insgesamt 12 Sportstudenten des Mainzer Sportinstituts mit einer Durchschnittsgröße von 180 cm und einem mittleren Körpergewicht von 75,8 kg. Ihr Durchschnittsalter betrug 23 Jahre (siehe Tab. 1, S. 15). Einerseits befanden sich darunter typische Ausdauersportler wie Ruderer und Langstreckensportler, andererseits aber auch Sportler, von denen man von vornherein nur eine mittlere Ausdauer-Leistungsfähigkeit erwartet. Insofern konnte man hinsichtlich der durchschnittlichen maximalen Sauerstoffaufnahme keineswegs Höchstwerte im Bereich von 5 l/min bzw. 80 ml/kg Körpergewicht erwarten.

Die Versuchspersonen wurden nicht honoriert, man hatte aber den Eindruck, daß sie durchaus ehrgeizig waren und meinten, daß es sich bei den Versuchen um einen besonders aussagefähigen Test hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit handelte. Beiläufig konnte man die Bemerkung entnehmen, daß sie sich durchaus in der Art eines "Ergometerwettkampfs" fühlten. Insofern kann man durchaus von einem überdurchschnittlichen Motivationszustand ausgehen.

5.3. Diskussion der Hypothese

Bei der Hypothesenbildung (siehe S. 14) wurde davon ausgegangen, daß aufgrund der vorgegebenen Literaturerkenntnisse ein Einfluß der Tretgeschwindigkeit auf die maximale Sauerstoffaufnahme zu erwarten war. Wenn dies nun nicht der Fall ist, so muß damit zunächst die vorgegebene Hypothese verworfen werden. Bei unseren Probanden ließ sich bei steigenden Drehzahlen kein Effekt auf das Meßergebnis des Tests: "maximale Sauerstoffaufnahme" nachweisen.

Andererseits wird anhand der ergometrischen Daten und am Verhalten der maximalen

Herzfrequenz deutlich, daß sich auch bei unseren Versuchen die Probanden bei der höheren Drehzahl stärker verausgaben, daß sie eine größere physiologische Leistung verrichteten. Fragt man nun aber nach den Ursachen dieses unerwarteten Verhaltens unserer Probanden und stellt sie den Aussagen von ISRAEL und Mitarb. (1967) gegenüber, so bleibt nur folgende Erklärung: In beiden Versuchsreihen wurde für die Sauerstoffaufnahme unabhängig von der Drehzahl ein "leveling off" erreicht, bedingt durch einen möglichen hohen Motivationszustand der Probanden. Deshalb waren bei der maximalen Sauerstoffaufnahme in beiden Fällen keine Unterschiede feststellbar. Trotzdem lag eine höhere Ausbelastung bei den Versuchsreihen mit 100 U/min vor, wie u.a. aus den ergometrischen Daten hervorgeht (siehe S. 29). Es liegt also insofern eine Übereinstimmung mit der Literatur vor, daß sich bei höherer Drehzahl die Probanden stärker verausgaben, auch wenn sich dieser Effekt bei unseren Probanden nicht auf das Testergebnis "maximale Sauerstoffaufnahme" auswirkt.

5.4. Methodenkritik

Man mag einwenden, daß eine Anzahl von 12 Probanden noch keine repräsentative Aussage gestattet. Angesichts der Schwierigkeiten, für derartige Versuche mit 4 Wiederholungen genügend zuverlässige Probanden zu finden, erschien die Anzahl von 12 Versuchspersonen als befriedigender Kompromiß zwischen der Forderung nach größerer Anzahl und den Realitäten. Die Effekte sind auch deutlich genug, so daß sie sich statistisch auswerten und interpretieren ließen.

Der Durchschnittswert für die maximale Sauerstoffaufnahme der Probanden liegt mit 50,2 ml/kg x min im Erwartungsbereich, wenn man berücksichtigt, daß die Probanden nicht als Ausdauersportler der Spitzenklasse zu bezeichnen sind. Insofern hat sich das benutzte offene System nicht nur bewährt, sondern auch zuverlässige Werte geliefert.

In der Erholungsphase wurde lediglich die vermehrte O_2 -Nachatmung erfaßt. Zusätzliche Bestimmung der Erholungspulssumme oder des Säure-Basen-Haushalts im Blut unterblieben leider. Diese Meßgrößen hätten die aufgestellte Deutung der Versuchsergebnisse stützen können, für die Beantwortung der gestellten Frage waren sie aber aus der Sicht vor Beginn der Untersuchung nicht notwendig.

Wie bei jeder experimentellen Untersuchung traten kleinere oder größere methodische Schwierigkeiten auf. Doch auch bei kritischer Betrachtung dürften sie die vorgelegten

Ergebnisse nicht wesentlich beeinflußt haben. Ein Anspruch auf Allgemeingültigkeit der Befunde kann, wie bei jeder Arbeit mit kleinerem Stichprobenumfang, nur unter Vorbehalt erhoben werden.

5.5. Schlußfolgerungen für die Praxis

Die Quintessenz für die Praxis ist schließlich die, daß in der vorliegenden Untersuchung die höhere Tretgeschwindigkeit keinen Einfluß auf die maximale Sauerstoffaufnahme genommen hat. Dies zeigt aber auch, daß der Tretgeschwindigkeit hinsichtlich der Meßgröße selbst eine zweitrangige Bedeutung zukommt. Dieser Befund spricht nicht dagegen, bei Ergometerversuchen höhere Tretgeschwindigkeiten zu wählen, als die Standardisierungskommission vorschlug (MELLEROWICZ, 1965). Auch bei dieser vorliegenden Untersuchung wurde deutlich, daß Versuche mit einer höheren Tretgeschwindigkeit zu einer größeren Ausbelastung führen. Weiterhin gaben in Übereinstimmung mit ULMER (1973a) mehrere Probanden spontan an, daß ihnen die höhere Tretgeschwindigkeit durchaus angenehmer sei. Insofern ergeben sich keine Bedenken, bei der ergometrischen Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme vom Vorschlag der Standardisierungskommission abzuweichen und höhere Tretgeschwindigkeiten vorzugeben, z.B. 75 U/min (ULMER, 1973a). Dies würde zwar den Gesichtspunkt der Ökonomie vernachlässigen, erbrächte aber 2 wesentliche Vorteile: höhere Ausbelastung trotz geringeren Anstrengungserlebnisses der Probanden. Dies könnte z.B. bei Patienten mit geringerem Motivationszustand (Gutachten) von Vorteil sein, da dann eher eine Ausbelastung erwartet werden kann.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Angesichts der Diskrepanz zwischen subjektiv gewählter Tretgeschwindigkeit (z.B. bei Radrennen 100 - 130 U/min) und der Tretgeschwindigkeit mit günstigster Ökonomie (30 - 50 U/min) wird in letzter Zeit die Frage nach der günstigsten Tretgeschwindigkeit für Ergometerversuche in der Literatur diskutiert. In der vorliegenden Arbeit sollte geprüft werden, welchen Einfluß zwei verschiedene Tretgeschwindigkeiten (50 und 100 U/min) auf die Testgröße "maximale Sauerstoffaufnahme" ausüben.

Aufgrund des Literaturstudiums wurde erwartet, daß bei höheren Tretgeschwindigkeiten (um 100 U/min) eine höhere Ausbelastung (max. Sauerstoffaufnahme) auftritt als bei Tretgeschwindigkeiten, die von einer Standardisierungskommission für die Ergometrie vorgeschlagen wurden (um 50 U/min).

Methodisch gingen wir derart vor, daß 12 Sportstudenten auf einem ÅSTRAND-Ergometer belastet wurden. Einem Vorversuch folgten je vier gewertete Wiederholungsversuche abwechselnd mit Tretgeschwindigkeiten von 50 und 100 U/min. Die Sauerstoffaufnahme wurde mit einem offenen System bestimmt.

Nach einer fünfminütigen Vorruhe folgte der jeweilige Belastungsversuch mit einer alle zwei Minuten stufenweise bis zur Erschöpfung ansteigenden Belastungszunahme. Anschließend folgte eine fünfminütige Erholungsphase, die der Proband immer noch auf dem Ergometer sitzend verbrachte. Während des gesamten Versuchsablaufs behielt der Proband eine Atemmaske auf, wodurch die Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe kontinuierlich erfaßt werden konnten. Gleichfalls erfolgte eine Aufzeichnung des EKG zur Ermittlung der Herzfrequenz in zeitlich festgelegten Abständen.

Die Ergebnisse zeigten keinen signifikanten Unterschied der maximalen Sauerstoffaufnahme bei den Tretgeschwindigkeiten von 50 und 100 U/min. Damit muß also die aufgestellte Hypothese bezüglich der maximalen Sauerstoffaufnahme verworfen werden.

Andererseits zeigte sich anhand verschiedener ergometrischer Daten (Dauer der Belastung, Endleistung), daß bei höheren Tretgeschwindigkeiten trotz des ungünstigeren Wirkungsgrads eine größere Leistung erreicht wurde, die aufgrund der damit einhergehenden größeren Beanspruchung auf eine größere Ausbelastung schließen läßt.

In der Diskussion wird gezeigt, warum eine größere Ausbelastung sich nicht immer auf

die max. Sauerstoffaufnahme auswirken muß. Wenn nämlich schon bei der Mehrzahl der Versuche mit 50 U/min das sogenannte "leveling off" erreicht wird, ist bei größerer Ausbelastung (100 U/min) keine Steigerung der max. Sauerstoffaufnahme mehr zu erwarten. Aufgrund der Ruhewerte, die für einen ausgeprägten Vorstartzustand sprechen und aufgrund der Maximalwerte für Sauerstoffaufnahme und Pulsfrequenz muß angenommen werden, daß bei den Probanden (Sportstudenten) ein hoher Motivationsgrad vorlag. Dieser führte bei den meisten Probanden in den Bereich des "leveling off", auch wenn der Nachweis eines ausgeprägten Plateaus nicht in jedem Fall gelang. Dieser Nachweis würde verlangen, daß der Proband den Bereich des "leveling off" mindestens 1/2 min beibehält, so daß die dargelegte Argumentation bezüglich des Erreichens des "leveling off" nicht im Widerspruch zum mangelnden Nachweis des anschließenden Plateaus steht.

Abschließend wird darauf hingewiesen, daß mit höheren Drehzahlen (im Vergleich zu Empfehlungen der Standardisierungskommission) durchaus eine höhere Ausbelastung erwartet werden kann, auch wenn sich dies nicht immer auf die maximale Sauerstoffaufnahme auswirkt. Dieser Effekt höherer Drehzahlen könnte z. B. bei Probanden mit geringerer Motivation (Gutachtenpatienten) durchaus eine erwünschte höhere Ausbelastung bewirken.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- ÅSTRAND, P.O. Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Munksgaard, Copenhagen: 1952
- ATZLER, E. Körper und Arbeit. Thieme, Leipzig 1927
- BORG, G. and H. DAHLSTRÖM The perception of muscular work. A psychological study of short-time work on the bicycle ergometer. Publ. Umea Res. Libr., Umea 1960
- CLAUSS, G. und H. EBNER Grundlagen der Statistik. Deutsch, Frankfurt/Main-Zürich 1970
- HARNONCOURT, K., H. HUTTEN und H.-V. ULMER Eine tragbare Gasmischanlage zur Mehrpunkt-Kalibrierung von O_2 - und CO_2 -Analysatoren (Vortrag). Kongr. Medizin-Technik, Stuttgart 1972.
- HARRE, D. und Autorenkollektiv Trainingslehre. (3. Auflage) Sportverlag, Berlin 1971
- HEINRICH, K.W., H.-V. ULMER und J. STEGEMANN Sauerstoffaufnahme, Pulsfrequenz und Ventilation bei Variation von Tretgeschwindigkeit und Tretkraft aerober Ergometerarbeit. Pflügers Arch. 298, 191 - 199 (1968)
- HOLLMANN, W. Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit des Sportlers. Barth, München, 1963.
- ISRAEL, S. und H. BRENKE Die Beziehung zwischen Körpergewicht und Sauerstoffaufnahmevermögen. Medizin und Sport 5, 90 - 92 (1965)
- ISRAEL, S., H. BRENKE und H. DONATH Die Abhängigkeit einiger funktioneller Meßgrößen von der Fußkurbelergometrie. Medizin und Sport 7, 65 - 68 (1967)
- ISRAEL, S. Sport, Herzgröße und Herzkreislauf-Dynamik. Barth, Leipzig, 1968
- ISRAEL, S. Zur Problematik der maximalen Herzschlagfrequenz bei Sportlern. Medizin und Sport 10, 193 - 200 (1970)
- KEUL, J., E. DOLL und D. KEPPLER Energiestoffwechsel und körperliche Leistung S. 80 - 100. In: HOLLMANN, W., ed.: Zentrale Themen der Sportmedizin. Springer, Berlin-Heidelberg-New York 1972

- KNIPPING, H.W.,
W. BOLT,
H. VALENTIN und
H. VENRATH
Untersuchung und Beurteilung der Herzkranken. (2. Aufl.)
Enke, Stuttgart 1960
- KNOPP, M.,
P. WEIS und
H.-V. ULMER
Untersuchungen über die Zuverlässigkeit von Ruhepulsfrequenzmessungen beim Führen eines Trainingsbuches.
Leistungssport 3, 135 - 139 (1973)
- KUSCHINSKY, G.
Wirkung und Indikation von Placebo.
Dtsch. Arztebl. 72, 663 - 667 (1975)
- LEHMANN, G.
Praktische Arbeitsphysiologie. (2. Aufl.)
Thieme, Stuttgart 1962
- LÖLLGEN, H. und
H.-V. ULMER
Zum Problem der Tretgeschwindigkeit in der Ergometrie. In: MELLEROWICZ, H. und G. HANSEN, eds.: III. Internationales Seminar für Ergometrie, Berlin 1972. S. 130 - 135; Ergon, Berlin 1974
- MELLEROWICZ, H.
Vorschläge zur Standardisierung der ergometrischen Leistungsmessung.
In: MELLEROWICZ, H. und G. HANSEN, eds.: I. Internationales Seminar für Ergometrie Berlin 1965. S. 20 - 24; Institut für Leistungsmedizin, Berlin 1965
- MELLEROWICZ, H.
Ergometrie. (2. Aufl.)
Urban und Schwarzenberg, München-Berlin-Wien 1975
- MILLAHN, H.P. und
J. DÖSCHER
Die maximale Sauerstoffschuld bei Männern und Frauen in Abhängigkeit vom Trainingszustand.
Int. Z. angew. Physiol. 25, 67 - 79 (1968)
- RÖCKER, L. und
H. STOBOY
Beziehung zwischen Kraft und statischer Ausdauer und Motivationsbedingungen.
Sachverständige 7, 55 - 61 (1970)
- RÖCKER, L.,
H. STOBOY,
F. OWCZAREK und
V. REPNOW
Der Einfluß der Motivation auf Herzfrequenz, Atemzeitvolumen und Sauerstoffaufnahme bei maximalen statischen Kontraktionen.
Arbeitsmed., Sozialmed., Arbeitshyg. 8, 226 - 230 (1972)
- ROHMERT, W.
Pulsfrequenz und Dauerleistungsgrenze, Belastung und Beanspruchung der Menschen.
In: Schriftreihe "Arbeitswissenschaft und Praxis" Bd. 28, S. 30 - 42
Beuth, Berlin-Köln-Frankfurt 1973

- ULMER, H.-V. Die Leistungsbereitschaft in Abhängigkeit von der Drehzahl bei Fahrradergometer-Arbeit. Pflügers Arch. 307, R 90 (1969a)
- ULMER, H.-V. Die Abhängigkeit des Leistungsempfindens von der Tretfrequenz bei Radsportlern. Sportarzt und Sportmed. 20, 385 - 393 (1969 b)
- ULMER, H.-V. Eine Einrichtung zur schnellanzeigenden, analogen und digitalen Registrierung der Stoffwechselgrößen sowie weiterer ergometrischer Daten. Int. Z. angew. Physiol. 28, 292 - 320 (1970)
- ULMER, H.-V. und H. LÖLLGEN Zum Problem der Tretgeschwindigkeit in der Ergometrie. In: HANSEN, G. und H. MELLERO-WICZ, eds.: 3. Internationales Seminar für Ergometrie, Berlin 1972. S. 128 - 135; Ergon, Berlin 1974
- ULMER, H.-V. Zur Methodik, Standardisierung und Auswertung von Tests für die Prüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit. Habilitationsschrift, Mainz 1973 a
- ULMER, H.-V. Die Tretgeschwindigkeit von Radsportlern bei Bahnrennen und Ergometerversuchen. Sportarzt und Sportmedizin 24, 77 - 82 (1973 b)
- ULMER, H.-V., R. GROSS, G. WILBERT und H. LÖLLGEN Zur Frage eines Leistungsempfindens für körperliche dynamische Belastungen und dessen Bedeutung für die Optimierung von zyklischen Bewegungsabläufen im Sport. Als Manuskript gedruckt, Mainz 1974
- SCHITTENHELM, K. Die psychische Beeinflussung der maximalen körperlichen Leistungsfähigkeit. Examensarbeit, Bayerische Sportakademie, Grünwald 1970
- STEGEMANN, J., H.-V. ULMER und K.W. HEINRICH Die Beziehung zwischen Kraft und Kraftempfindung als Ursache für die Wahl energetisch ungünstiger Tretfrequenzen beim Radsport. Int. Z. angew. Physiol. 25, 224 - 234 (1968)
- STEGEMANN, J. Leistungsphysiologie - Physiologische Grundlagen der Arbeit und des Sports. Thieme, Stuttgart 1971
- STEINBACH, M. Medizinisch-psychologische Betrachtung zum Vorstartzustand. Sportarzt und Sportmedizin 21, 82 - 90 (1970)
- TAYLOR, H.L., E. BUSKIRK and A. HENSCHEL Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. J. Appl. Physiol. 8, 73 - 80 (1955)

TIEFENBACH, W.

Psychologische Gesichtspunkte bei Ergometer-
versuchen.

In: LOHMANN, K. ed.: Methoden und Probleme
der angewandten und Leistungsphysiologie. -
Verh. Dtsch. Ges. exp. Med. 18, 137 - 143
Volk und Gesundheit, Berlin 1967

WEBER, E.

Grundriß der biologischen Statistik. (4. Aufl.)
Fischer, Jena 1961

Wissenschaftliche Tabellen-Documenta

GEIGY. (7. Auflage)

Ed.: GEIGY, J.R., A.G., Pharma Basel

Copyright by J.R. Geigy S.A. Basel/Schweiz
1968

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. H.-V. ULMER, der mir nicht nur das Thema für diese Arbeit zur Verfügung stellte, sondern der mir auch bei der Vorbereitung und Durchführung der Experimente sowie bei der Fertigstellung der Arbeit ein vorzüglicher Betreuer war.

Herrn M. KLEINSCHMIDT danke ich für sein kollegiales Verhalten bei den gemeinsam durchzuführenden Versuchen. Gleichfalls sei allen Probanden gedankt, die durch ihre Bereitschaft und ihren Einsatz wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Nicht zuletzt möchte ich Frau P. WEIS danken, auf deren Hilfsbereitschaft ich immer rechnen konnte.

LEBENS LAUF

Kästner, Wolfram

geb.: 28.10.1948 in Kusel

Vater: Dr. Kästner, Heinz

Zahnarzt

6796 Schönenberg

Schulstraße 18

Volksschule Schönenberg 1955 - 1959

naturwissenschaftliches Gymnasium Kusel 1959 - 1967

Johannes Gutenberg-Universität Mainz 1967 - 1973

Staatsexamen Zahnmedizin 7.6.1973

